



**UNIVERSIDAD MICHUACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA
RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES**

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA MARCA
PACIFICADORA DE TRÁFICO “DIENTES DE DRAGÓN” EN
ZONAS DE TRANSICIÓN**

Presenta:

Ing. Emilio Alejandro Rubio Torres

Asesor:

Dr. Antonio Hurtado Beltrán

Co-asesor:

M.I. Jorge Armando Estrada Cortez

Morelia, Michoacán de Ocampo, México

Febrero, 2025

RESUMEN

Esta tesis evalúa el desempeño de la marca vial “Dientes de Dragón” como una medida para reducir la velocidad en zonas de transición rural-urbano en México. El objetivo central es determinar la eficacia de esta marca en comparación con la señalización tradicional de “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” y el escenario sin señalización, buscando identificar su viabilidad como herramienta para mejorar la seguridad vial.

La investigación se enmarca en el contexto de un incremento significativo de accidentes de tránsito en México, con el exceso de velocidad como una de las principales causas. La normativa mexicana vigente contempla un número limitado de marcas pacificadoras de tráfico, principalmente diseñadas para carreteras rurales, lo que subraya la necesidad de nuevas opciones de señalización adaptadas a zonas urbanas y de transición. En países como el Reino Unido y Australia, la marca “Dientes de Dragón” ha demostrado ser efectiva en la reducción de velocidad en zonas de riesgo, pero su desempeño no había sido evaluado en el contexto de países en vías de desarrollo como México.

Para cumplir con sus objetivos, el estudio emplea un enfoque experimental en el que se comparan tres condiciones de señalización: sin marca vial, con la marca vial “Dientes de Dragón”, y con la marca vial de “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” en tres zonas de transición en la ciudad de Uruapan, Michoacán, México. Se aplicaron análisis estadísticos para identificar los factores más influyentes en la respuesta de los conductores ante la marca “Dientes de Dragón”. Además, se incluyeron encuestas a los usuarios para evaluar su percepción y entendimiento de esta señalización.

Los resultados muestran que la marca “Dientes de Dragón” reduce de manera efectiva la velocidad de los vehículos en las zonas de transición estudiadas, destacándose en comparación con las otras dos condiciones. Los análisis indican que variables como la densidad vehicular y la tasa de flujo tienen una influencia significativa en la reducción de velocidad, especialmente en condiciones de tráfico moderado a alto. Asimismo, la encuesta revela una recepción positiva de la marca entre los usuarios que la identificaron, aunque también se detecta un índice notable de desatención hacia la señalización vial.

La investigación concluye que la marca “Dientes de Dragón” es una opción viable para mejorar la seguridad en zonas de transición rural-urbano en México y recomienda evaluar

su inclusión en la normativa mexicana de señalización. Se sugiere ampliar el estudio en escenarios de carreteras multicarril y considerar configuraciones extendidas de la marca para vías de alta velocidad, además de evaluar su uso en conjunto con otros elementos de señalización para reforzar su efectividad en distintos contextos viales.

Palabras clave: *Dientes de Dragón, Disipador de Tráfico, Marca Vial, Señalamiento, Zonas de Transición, Velocidad, Carretera.*

ABSTRACT

This thesis evaluates the performance of the “Dragon’s Teeth” road marking as a speed reduction measure in rural-urban transition zones in Mexico. The primary objective is to assess the effectiveness of this marking compared to traditional “transverse bars” and the scenario with no marking, to determine its viability as a tool to improve road safety.

The study is set against the backdrop of a significant increase in traffic accidents in Mexico, with speeding as one of the main causes. The current Mexican regulations provide a limited selection of traffic calming markings, primarily designed for rural highways, underscoring the need for new signage options tailored to urban and transition zones. In countries such as the United Kingdom and Australia, “Dragon’s Teeth” has proven effective in reducing speeds in high-risk areas, yet its performance has not been evaluated in the context of developing countries such as Mexico.

To achieve its objectives, the study employs an experimental approach, comparing three signaling conditions: no marking, the “Dragon’s Teeth” marking, and “Transverse Bars” across three transition zones in the city of Uruapan, Michoacán, Mexico. Statistical analyses were conducted to identify the factors most influential in drivers’ responses to the “Dragon’s Teeth” marking. Additionally, surveys were administered to evaluate users’ perception and understanding of this marking.

The results indicate that “Dragon’s Teeth” effectively reduces vehicle speed in the transition zones studied, outperforming the other two conditions. Analyses suggest that variables such as traffic density and flow rate significantly influence speed reduction, particularly in moderate to high traffic conditions. Furthermore, the survey reveals a positive reception of the marking among users who noticed it, although there is also a notable level of inattention to road signage in general.

The study concludes that “Dragon’s Teeth” is a viable option to improve safety in rural-urban transition zones in Mexico and recommends evaluating its inclusion in Mexican road signage regulations. It is suggested that future research extend to multi-lane highways and explore longer configurations of the marking to enhance its performance on high-speed roads, as well as examine its use alongside other signage elements to reinforce its effectiveness in diverse road environments.

Keywords: *Dragon Teeth, Traffic Calming, Road Marking, Signage, Transition Zone, Speed, Highways.*

DEDICATORIA

A mi madre por su amor incondicional, por siempre dar todo de si por sacarnos adelante y demostrarme que no hay obstáculo en la vida que no pueda superarse.

A mi padre por siempre brindarme su apoyo y enseñarme que uno puede tener caídas, pero siempre hay que levantarse y seguir adelante.

A mis hermanos, Roberto y Sebastián, por ser mis pilares en cuánto a ser ejemplo que debo seguir y los valores con los que debo guiarme en la vida.

A mi prometida Victoria, quien me ha acompañado y con su amor y apoyo me ha impulsado a mejorar cada día, celebrando cada logro conseguido.

Y a mi abuelita “Mello” quien ha sido una inspiración a través de su sabiduría y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a mi madre, por el apoyo que me ha brindado toda mi vida, donde durante esta etapa no ha sido la excepción, dándome siempre todo lo que ha tenido a su alcance para poderme superar y convertirme en la persona que soy hoy en día.

A mi padre, quien en los últimos años especialmente me ha demostrado que la vida puede llegar a ser desafiante, pero que a través de su esfuerzo me ha enseñado que no hay obstáculo que no pueda ser librado.

A mi hermano Roberto, quien me ha enseñado que puedo lograr lo que me proponga, porque siempre ha creído en mí como persona y profesionalista, cuya compañía siempre me ha aportado confort y tranquilidad para continuar.

A mi hermano Sebastián, quien siempre me ha brindado su apoyo y conocimiento para mi crecimiento académico y laboral, persona sin la cual no podría haber logrado llegar hasta donde estoy ahora.

A mi prometida Victoria, por ser la persona que más cree en mí y día a día me demuestra con su amor y apoyo sin condiciones, que aún en los días difíciles va a estar a mi lado, siempre para guiarme y acompañarme en la vida.

A mi asesor, el Dr. Antonio, por fungir como mi mentor durante mi etapa en el posgrado, siempre buscando sacar lo mejor de mí y apoyando la investigación en todo momento, agradezco su dedicación y profesionalismo durante toda esta etapa.

A mis profesores, por compartir siempre de la mejor manera su conocimiento, brindando las herramientas necesarias para que los alumnos lográramos tener el aprendizaje de la mejor manera, ayudando cada uno de manera directa o indirecta en esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tablas	xxi
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivo General	6
1.5 Objetivos Particulares	6
1.6 Hipótesis.....	6
1.7 Contribuciones	7
1.8 Estructura de la tesis.....	8
CAPÍTULO 2	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Ingeniería de Tránsito.....	10
2.1.1 Componentes del Sistema Vial	10
2.1.2 Oferta y Demanda Vial	10
2.1.3 Instalaciones de Flujo Continuo.....	11
2.1.4 Instalaciones de Flujo Interrumpido	11
2.1.5 Métricas macroscópicas del flujo vehicular.....	11

2.1.6	Métricas Microscópicas del Flujo Vehicular	12
2.1.7	Diagrama Fundamental.....	13
2.1.8	Capacidad y Niveles de Servicio	19
2.2	Señalamiento Vial	20
2.2.1	Señalamiento Vertical.....	20
2.2.2	Señalamiento Horizontal.....	21
2.2.3	Dispositivos diversos	27
2.2.4	Disipadores de tránsito.....	28
2.3	Zonas de transición.....	32
2.4	Estadística.....	33
2.4.1	Estadística descriptiva.....	33
2.4.2	Estadística inferencial	34
2.4.3	La distribución T de Student.....	34
2.4.4	Prueba T de muestras emparejadas o pareadas.	35
2.4.5	Técnica Random Forest (Bosque Aleatorio).....	36
2.4.6	Métodos de conjunto.....	37
2.4.7	Algoritmo de random forest.....	37
2.4.8	Regresión Lasso	39
2.5	Trabajos relacionados.....	40
CAPÍTULO 3		46
METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS MARCAS VIALES EXPLORADAS.....		46
3.1	Descripción de los sitios de estudio	46
3.1.1	Selección de los sitios de estudio.....	46
3.1.2	Sitios seleccionados	46

3.2	Descripción del equipo utilizado.....	47
3.3	Definición de escenarios	47
3.3.1	Condición existente.....	47
3.3.2	Marca “Dientes de Dragón”.....	52
3.3.3	Rayado logarítmico.....	57
3.4	Levantamiento de datos.....	61
3.4.1	Métricas de tránsito.....	61
3.4.2	Encuesta a usuarios	62
3.5	Procesamiento de datos	63
3.5.1	Filtrado de datos.....	63
3.5.2	Niveles de agregación de datos.....	64
3.5.3	Combinaciones a explorar.....	65
3.6	Análisis estadístico	66
3.6.1	Estadística descriptiva.....	66
3.6.2	Estadística inferencial	66
CAPÍTULO 4.		68
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS		
MARCAS VIALES EXPLORADAS.....		68
4.1	Caracterización del tránsito.....	68
4.1.1	Velocidad	68
4.1.2	Espaciamiento medio entre vehículos.....	82
4.1.3	Tasa de flujo.....	92
4.2	Factores asociados al desempeño de las marcas exploradas	103
4.3	Factores asociados a la reducción de velocidad	117
4.4	Niveles de percepción y entendimiento	121

4.5	Análisis comparativo del desempeño de la marca vial “Dientes de Dragón” contra la condición sin marca y la condición tradicional de “Rayas con Espaciamento Logarítmico”	123
CAPÍTULO 5		134
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
5.1	Conclusiones	134
5.2	Recomendaciones y trabajos futuros.....	136
	REFERENCIAS	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Relación lineal entre la velocidad y la densidad. Tomado de Cal y Mayor & Grisales, 2018.	15
Figura 2-2. Relación parabólica entre el flujo y la densidad. Tomada de Cal y Mayor & Grisales, 2018.	17
Figura 2-3. Relación parabólica entre la velocidad y el flujo. Tomada de Cal y Mayor & Grisales, 2018.	18
Figura 2-4. Diagrama fundamental del flujo vehicular. Tomada de Cal y Mayor & Grisales, 2018.	19
Figura 2-5. Rayas con Espaciamiento Logarítmico. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.	25
Figura 2-6. Marcas para indicar velocidad en el carril. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.	27
Figura 2-7. Reductor de velocidad. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.....	29
Figura 2-8. Reductor de velocidad tipo vibrador. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.	29
Figura 2-9. Reducción de carril. Tomada de Street Design Manual, 2022.....	30
Figura 2-10. Glorieta. Tomada de El Sol de Morelia, 2023.	31
Figura 2-11. Señal activada para vehículos. Tomada de El Blog Coyote, 2019.....	31
Figura 2-12. Zona de Transición. Tomada de NCHRP, 2012.	32
Figura 2-13. Distribución normal y distribución t.	35
Figura 3-1. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, km 8+300	48
Figura 3-2. Carretera MEX-037 "Carapan - Playa Azul", tramo "Carapan - Uruapan" condición sin marca.	49
Figura 3-3. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan”, km 58+600	50
Figura 3-4. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” condición sin marca.	50
Figura 3-5. Carretera “Uruapan – El Copetiro”, km 1+100.....	51
Figura 3-6. Carretera “Uruapan – El Copetiro” condición sin marca.	52

Figura 3-7. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Dientes de Dragón” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.	53
Figura 3-8. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, con la marca vial “Dientes de Dragón”.....	54
Figura 3-9. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Dientes de Dragón” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.....	55
Figura 3-10. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” con la marca vial “Dientes de Dragón”.....	55
Figura 3-11. Carretera estatal “Uruapan – El Copetiro”, km 1+100, marca vial “Dientes de Dragón” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.....	56
Figura 3-12. Carretera estatal “Uruapan – El Copetiro” con la marca vial “Dientes de Dragón”.....	57
Figura 3-13. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.....	58
Figura 3-14. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.	59
Figura 3-15. Carretera estatal “Uruapan – El Copetiro”, km 1+100, marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.	60
Figura 3-16. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan” con la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”.....	60
Figura 3-17. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” con la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”	61
Figura 3-18. Encuesta en sitio realizada a usuarios.	64
Figura 4-1. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).	69
Figura 4-2. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).	69

Figura 4-3. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).....	70
Figura 4-4. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).....	71
Figura 4-5. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).....	72
Figura 4-6. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).....	72
Figura 4-7. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).....	73
Figura 4-8. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).....	74
Figura 4-9. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	75
Figura 4-10. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	75
Figura 4-11. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).....	76
Figura 4-12. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).....	77
Figura 4-13. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).	78
Figura 4-14. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).	78
Figura 4-15. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	79

Figura 4-16. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	80
Figura 4-17. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).	81
Figura 4-18. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).	81
Figura 4-19. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).	82
Figura 4-20. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).	83
Figura 4-21. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	83
Figura 4-22. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	84
Figura 4-23. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).	84
Figura 4-24. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).	85
Figura 4-25. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).	86
Figura 4-26. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).	86
Figura 4-27. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	87
Figura 4-28. Espaciamento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	87

Figura 4-29. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).....	88
Figura 4-30. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).....	88
Figura 4-31. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).....	89
Figura 4-32. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).....	90
Figura 4-33. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	90
Figura 4-34. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	91
Figura 4-35. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).....	91
Figura 4-36. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).....	92
Figura 4-37. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).....	93
Figura 4-38. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).....	93
Figura 4-39. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	94
Figura 4-40. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	94
Figura 4-41. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).....	95

Figura 4-42. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).	95
Figura 4-43. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).	96
Figura 4-44. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).	97
Figura 4-45. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	97
Figura 4-46. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	98
Figura 4-47. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).	98
Figura 4-48. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).	99
Figura 4-49. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).	100
Figura 4-50. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).	100
Figura 4-51. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).	101
Figura 4-52. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).	101
Figura 4-53. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).	102
Figura 4-54. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).	102
Figura 4-55. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición sin marca.	103

Figura 4-56. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición sin marca. Estación 1.	104
Figura 4-57. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición sin marca. Estación 2.	104
Figura 4-58. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca.	105
Figura 4-59. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1.	105
Figura 4-60. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2.	106
Figura 4-61. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca.	107
Figura 4-62. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1.	107
Figura 4-63. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2.	108
Figura 4-64. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca “Dientes de Dragón”. ..	108

Figura 4-65. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1.	109
Figura 4-66. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2.	109
Figura 4-67. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca “Dientes de Dragón”	110
Figura 4-68. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1.....	110
Figura 4-69. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2.....	111
Figura 4-70. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca “Dientes de Dragón.....	111
Figura 4-71. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1.	112
Figura 4-72. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2.	112
Figura 4-73. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-037 Carapan –	

Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca “Rayas con Espaciamento Logarítmico”.....	113
Figura 4-74. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1.	113
Figura 4-75. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 2.	114
Figura 4-76. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca “Rayas con Espaciamento Logarítmico”.....	114
Figura 4-77. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1.....	115
Figura 4-78. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 2.....	115
Figura 4-79. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca “Rayas con Espaciamento Logarítmico”.....	116
Figura 4-80. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1.	116

Figura 4-81. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2.	117
Figura 4-82. Importancia de las variables en la reducción de velocidad a través del modelo Random Forest	120
Figura 4-83. Variables de mayor influencia de acuerdo con su coeficiente de la regresión Lasso (derecha).	120
Figura 4-84. Respuesta de los usuarios a si observaron la marca "Dientes de Dragón" sobre el pavimento. Fuente propia.	122
Figura 4-85. Reacción de los usuarios a la marca "Dientes de Dragón". Fuente propia.	122
Figura 4-86. Percepción de seguridad vial de los usuarios con la marca "Dientes de Dragón". Fuente propia.	123
Figura 4-87. Distribución acumulada de velocidades, comparativa sin marca vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Fuente propia.	124
Figura 4-88. Distribución acumulada de velocidades, comparativa sin marca vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan libre de cuota. Fuente propia.	125
Figura 4-89. Distribución acumulada de velocidades, comparativa sin marca vs "Dientes de Dragón, Carretera Uruapan - El Copetiro. Fuente propia.	126
Figura 4-90. Distribución acumulada de velocidades, comparativa "Rayas con Espaciamiento Logarítmico" vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Fuente propia.	128
Figura 4-91. Distribución acumulada de velocidades, comparativa "Rayas con Espaciamiento Logarítmico" vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan libre de cuota. Fuente propia.	129
Figura 4-92. Distribución acumulada de velocidades, comparativa "Rayas con Espaciamiento Logarítmico" vs "Dientes de Dragón, Carretera Uruapan - El Copetiro. Fuente propia.	130

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Clasificación funcional del señalamiento vertical (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).....	20
Tabla 2-2. Clasificación de las marcas y dispositivos para el señalamiento horizontal (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).	21
Tabla 2-3. Separación entre rayas con espaciamiento logarítmico (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).....	23
Tabla 2-4. Clasificación de los dispositivos diversos, Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.	27
Tabla 2-5. Comparativa de estudios previos sobre marcas pacificadoras de tráfico.	44
Tabla 4-1. Resultados de encuesta aplicada a usuarios en las tres zonas de estudio.	121
Tabla 4-2. Estadística descriptiva y análisis de la velocidad de la prueba t pareada entre los distintos escenarios para cada zona de estudio. Fuente Propia	132

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Durante el año 2022, las muertes en México por accidentes de tráfico aumentaron un 7.08% con respecto al año 2021, se registraron 16,104 fallecimientos durante todo el año, lo que significa que murieron 44 personas al día en el país a causa de accidentes de tráfico. Para el año 2023 si bien existió una baja en el total de fallecimientos (4803) sigue siendo un número alto de personas fallecidas al día (14) (INEGI, 2023). Por ello, el país se sumó a la iniciativa mundial denominada “Declaración de Estocolmo”, con la cual se pretende reducir las muertes por choque y atropellamientos en al menos un 50% entre 2020 y 2030 (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2020).

De los accidentes ocurridos durante 2023 el 92.5% fueron por causas atribuibles al conductor, siendo el exceso de velocidad uno de los principales factores de los accidentes atribuibles al usuario del vehículo (INEGI, 2023).

En el caso particular para el desarrollo de la investigación, la ciudad de Uruapan, México cuenta con una población de 356,786 habitantes (Secretaría de Economía, 2023), con un crecimiento del 13.1% del año 2010 al año 2020. Al tratarse de una ciudad dedicada principalmente a la agricultura con exportación de higos, piña, aguacate, guayaba, mango, entre otros, tiene una afluencia vehicular grande en sus accesos carreteros, por lo que es un lugar representativo para evaluar el comportamiento vehicular en dichas zonas.

Las marcas pacificadoras de tráfico buscan a través de técnicas nuevas y tradicionales reducir la velocidad con que la conducen los usuarios y alertar sobre un cambio en las condiciones de la vialidad. Cuando las marcas pacificadoras cumplen su función se potencia la seguridad vial para todos los usuarios. Muchas de las técnicas que se han implementado crean un impacto visual en los usuarios que aumenta sus niveles de atención en puntos de riesgo del sistema vial. Las marcas pacificadoras de tráfico tienen el potencial de influenciar al conductor a disminuir su velocidad, promover condiciones más seguras y disminuir la contaminación de ruido (Yew Wei et al., 2013).

En países como Reino Unido o China se ha usado una marca pacificadora conocida como dientes de dragón, la cual ha demostrado ser efectiva en estudios realizados para mitigar el problema del control de velocidad en zonas o puntos de riesgo del sistema vial (Montella et al., 2015; Rossi et al., 2014; Yew Wei et al., 2013). Sin embargo, el desempeño de la marca dientes de dragón no ha sido evaluado todavía en entornos de países en vías de desarrollo como México.

1.2 Planteamiento del problema

De acuerdo con reportes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2016 fallecieron un millón 400 mil personas a causas de accidentes de tráfico. Donde se reporta que el exceso de velocidad es una de las principales causas en los accidentes de tránsito. Se tiene como dato que, en el año 2019, del total de accidentes ocurridos en zonas urbanas y suburbanas en México, el 92.3% reportan una causa atribuible al conductor mientras que, en carreteras federales, el 77.7% de los accidentes son atribuibles al conductor (Casanova et al., 2021). De los accidentes atribuibles al conductor, el 30% está relacionado con el exceso de velocidad, de acuerdo con el Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (CONAPRA). Se debe ser consiente que el riesgo que tiene un conductor de morir al conducirse a una velocidad aproximada de 20 km/h es casi nula, pero al aumentar la velocidad, aumenta la posibilidad fallecer al tener un accidente, siendo de casi el 100% al chocar a una velocidad mayor de 100 km/h (Forbes Staff, 2019).

Uno de los problemas más habituales en las iniciativas de prevención de siniestros viales y lesiones es la falta de motivación para atender las recomendaciones de seguridad vial. Las razones más frecuentes por las que la gente no desea implicarse en la prevención de los siniestros viales son debido a que no suele considerar como un problema grave o porque se piensa que no merece la pena trabajar en su prevención (Hoff, 1996).

La ocurrencia de accidentes derivados del exceso de velocidad suele ser más crítica en las zonas de transición de la red vial. El término zona de transición se refiere a segmentos del camino, donde existe un cambio en el límite de velocidad de una velocidad alta a una velocidad baja (Forbes, 2011). Por ejemplo, en Irán, el departamento de policía reporta que al menos el 23% de los accidentes de tráfico ocurren las zonas de transición rural-urbano. Una de las causas principales es el exceso de velocidad, que mantiene una relación con la

severidad y frecuencia de los accidentes (Akbari & Haghighi, 2019). En Italia, los accidentes de tráfico y las muertes por accidentes de tráfico registrados en zonas de transición representan el 14.5% y 33.2% del total de accidentes y muertes de la zona urbana, respectivamente (Lamberti et al., 2009).

En el caso particular de la ciudad de Morelia, Michoacán, tan solo en el año 2021 hubo un total de 133 accidentes en los principales accesos a la ciudad, según datos obtenidos de la plataforma del INEGI en el sistema de consulta “Espacio y datos de México”. Esto significa que hay un accidente de tránsito cada 3 días en las zonas de transición rural-urbano en la ciudad de Morelia.

Dentro del Manual de Señalización y Dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras de la SICT publicada en el 2023 no existe consideración alguna para las zonas de transición entre una carretera rural y una carretera urbana. Al existir este déficit en la señalética para las zonas de transición se denota una deficiencia para las mismas, por lo que es necesario comenzar con el estudio de señalamiento para mejorar el comportamiento de los vehículos al ingresar a la mancha urbana para evitar un mayor número de accidentes y las faltas a la ley (tales como exceso de velocidad).

En concordancia con lo mencionado con la falta de señalamiento para zonas de transición, el mismo manual únicamente contempla como marca pacificadora de tráfico dentro del señalamiento horizontal la marca de Rayas con Espaciamiento Logarítmico, en el cual señala que se utiliza en calles y carreteras, previo a cruce de peatones, cruces a nivel con vías férreas, zonas escolares o cualquier otro sitio donde se requiera disminuir la velocidad de los vehículos, por lo que el uso multipropósito de la marca puede hacer que no tenga el mismo impacto ante el usuario automotor por la desensibilización a la marca.

Por tal motivo, se propone evaluar la marca “Dientes de Dragón” en zonas de transición rural-urbano con la finalidad de mejorar la seguridad vial en estos sitios de riesgo para el usuario. La marca convencional de rayas con espaciamiento logarítmico que ha sido utilizada en México de manera generalizada no ha demostrado ser suficientemente efectiva en su propósito de reducir la velocidad de los automovilistas, como se menciona en parte del problema, el exceso de velocidad es causante del 30% de los accidentes atribuibles al conductor, por lo que se considera necesario evaluar la efectividad de una marca distinta para poder ampliar el abanico de opciones en cuanto a marcas pacificadoras

de tráfico. Es importante denotar que de las cinco zonas de acceso que tiene la ciudad de Morelia, en donde ocurrieron los 133 accidentes en 2021, cuatro de ellas cuentan con rayas con espaciamiento logarítmico existente. Lo anterior, revela la necesidad de evaluar medidas alternativas que pueden resultar más efectivas y económicamente viables que ayuden a mejorar la seguridad vial en sitios de riesgo como es el caso de las zonas de transición rural-urbano.

1.3 Justificación

La normativa de señalamiento en otros países como Reino Unido, Australia o Nueva Zelanda incluye varias alternativas en cuanto a marcas pacificadoras de tránsito. Por ejemplo, en el Manual de Diseño para Caminos y Puentes del Reino Unido publicado en el 2004 se mencionan una diversidad de marcas en las que se incluyen:

- Superficies pintadas: Se pueden utilizar para resaltar áreas particulares del camino o indicar reacomodos en el camino, por ejemplo, para incluir transporte público y bicicletas.
- Zonas achuradas.
- Islas “fantasma”
- Build Outs
- Mini glorietas
- Over Run Areas
- Rayado zigzag
- Reductor de velocidad virtual
- Líneas periféricas
- Dientes de Dragón
- Rayado logarítmico

En este proyecto de investigación se busca ampliar el catálogo de marcas pacificadoras de tráfico en México para contar con más alternativa en consonancia con normativas internacionales, a fin de seleccionar la opción adecuada cuando se realicen nuevos proyectos o se evalúen puntos de conflicto.

A fin de ampliar y mejorar el catálogo de marcas que pueden ser utilizadas en nuestro país, teniendo el mismo propósito que buscan la mejora en cuanto a seguridad y

movilidad de las carreteras, como son los planes de desarrollo urbano municipales, la recientemente publicada Ley General de Movilidad y Seguridad Vial (2023), la Declaración de Estocolmo son parte de la justificación del estudio de una marca no probada antes en países en vías de desarrollo como México.

La marca dientes de dragón ha sido utilizada en países como Australia y Reino Unido desde hace más de una década (Department for Transport, 2000; Charlton & Baas, 2006), probando ser eficiente en zonas urbanas, zonas escolares y zonas de transición rural-urbano, por lo que evaluar su desempeño en un país en desarrollo como México puede traer consigo resultados favorables en la reducción de la velocidad en los conductores.

En estudios previos (Lee et al., 2013; Yew Wei et al., 2013; Rossi et al., 2014) se obtuvieron resultados favorecedores para la marca dientes de dragón en la reducción de la velocidad de los conductores, ya que se observaron reducciones de hasta 25 km/h.

Sumado a lo anterior, la marca dientes de dragón resulta menos costosa de implementar que la marca de rayas con espaciamiento logarítmico (única contenida en la NOM-034-SCT2/SEDATU-2022) ya que ocupa menor espacio sobre el camino. Por ejemplo, para un diferencial de velocidades de 30 km/h en el caso de las rayas con espaciamiento logarítmico se requieren un total de 20 líneas de 60 cm de ancho, tomando un ancho promedio de carril de 3.50 m tenemos que requiere un área de pintado de 42 m² y ocupa una longitud de 134.3 m, adicionalmente se deben colocar botones metálicos. En contraste para la misma situación, la marca dientes de dragón requiere un área de pintado de tan solo 10.35 m² a lo largo de una longitud de 64.75 m, además de ser menos invasiva ya que solo ocupa parcialmente los extremos laterales del carril de circulación y no todo su ancho como ocurre con las rayas con espaciamiento logarítmico.

En la normativa mexicana de señalamiento vial (NOM-034-SCT2/SEDATU-2022) únicamente se cuenta con la marca de rayas con espaciamiento logarítmico. Consecuentemente, este proyecto de investigación pretende dar a conocer los beneficios potenciales que puede brindar la marca dientes de dragón y justificar por qué su inclusión en el marco normativo mexicano serviría para proporcionar alternativas distintas a la que ofrece la NOM-034-SCT2/SEDATU-2022.

1.4 Objetivo General

Evaluar el desempeño de la marca pacificadora de tráfico ‘Dientes de Dragón’ en zonas de transición de caminos rural a urbano para determinar su aplicabilidad en México.

1.5 Objetivos Particulares

- 1) Caracterizar la corriente vehicular en las zonas de transición seleccionadas a través del levantamiento de datos de tránsito considerando tres escenarios de evaluación: (1) sin marca vial, (2) con marca dientes de dragón, y (3) con marca de rayas con espaciamiento logarítmico, con la finalidad de cuantificar la reducción de velocidad y sus factores asociados producida por las marcas viales evaluadas.
- 2) Conocer a través de la aplicación de una encuesta los niveles de percepción y entendimiento que tienen los usuarios al interactuar con la marca dientes de dragón, para determinar si la marca está cumpliendo su propósito de reducción de velocidad y no transmite un mensaje confuso a los usuarios.
- 3) Comparar el desempeño de la marca ‘Dientes de Dragón’ con la marca tradicional ‘Rayas con Espaciamiento Logarítmico’ y con el comportamiento de los conductores cuando no existe ninguna medida pacificadora de tráfico para determinar su potencial de inclusión en el marco normativo de señalamiento.

1.6 Hipótesis

La marca pacificadora de tráfico ‘Dientes de Dragón’ produce una reducción de la velocidad de operación de los automovilistas en zonas de transición rural-urbano en comparación con la condición sin marca pacificadora de tráfico y con la marca tradicional de rayas con espaciamiento logarítmico.

- Hipótesis 1:
 - Hipótesis nula: Que la velocidad de circulación de los vehículos sin marca pintada sobre el pavimento es menor que la velocidad de circulación de los vehículos con la marca vial “Dientes de Dragón” (Ecuación 1.1).
 - Hipótesis alternativa: Que la velocidad de circulación de los vehículos con la marca vial “Dientes de Dragón es menor que la velocidad de circulación de los vehículos sin marca pintada sobre el pavimento (Ecuación 1.2).

$$H_o = V_{SM} - V_{DD} \leq 0 \quad (1.1)$$

$$H_1 = V_{SM} - V_{DD} > 0 \quad (1.2)$$

Donde:

H_o =Hipótesis Nula

H_1 =Hipótesis Alternativa

V_{SM} = Velocidad sin marca existente

V_{DD} = Diferencial de velocidad con la marca dientes de dragón

- Hipótesis 2:
 - Hipótesis nula: Que la velocidad de circulación de los vehículos con la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” es menor que la velocidad de circulación de los vehículos con la marca vial “Dientes de Dragón” (Ecuación 1.3).
 - Hipótesis alternativa: Que la velocidad de circulación de los vehículos con la marca vial “Dientes de Dragón es menor que la velocidad de circulación de los vehículos con la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” (Ecuación 1.4).

$$H_o = V_{RL} - V_{DD} \leq 0 \quad (1.3)$$

$$H_1 = V_{RL} - V_{DD} > 0 \quad (1.4)$$

Donde:

H_o =Hipótesis Nula

H_1 =Hipótesis Alternativa

V_{DD} = Velocidad con la marca dientes de dragón

V_{RL} = Velocidad con las rayas con espaciamiento logarítmico

1.7 Contribuciones

- Aportar a la investigación de la marca vial “Dientes de Dragón” en México, estableciendo un diseño con adiciones contenidas dentro del marco normativo del país para su uso en zonas de transición.
- Enriquecer el catálogo de señalamiento vial en México, al recomendar su uso como una alternativa a la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” para zonas de transición.

- Conocer bajo qué condiciones de tránsito y características de los usuarios la marca vial “Dientes de Dragón” muestra los mejores resultados en cuanto a la reducción de velocidad.

1.8 Estructura de la tesis

La presente tesis se organizó en cinco capítulos. En este primer capítulo se abordó la introducción al tema desarrollado, incluyendo los antecedentes relevantes que existen en el contexto nacional, buscando demostrar el por qué es importante realizar una investigación sobre una nueva marca pacificadora de tráfico, ya que siguen existiendo un número grande de siniestros y víctimas a causa de los accidentes de tráfico.

En el segundo capítulo se describen los fundamentos teóricos que dan sustento a los temas que se abordan en la tesis, principalmente a temas acerca de la Ingeniería de Tránsito como son las métricas de tránsito, la clasificación vehicular y la dinámica vehicular. Además, de la tesis se realiza un análisis sobre el estado del arte sobre estudios que se han realizado en cuanto la accidentabilidad en zonas de transición y el desempeño de marcas pacificadoras de tráfico, estableciendo una comparativa entre trabajos para diferenciar la aportación de cada uno de ellos y cómo aportaron de diferente manera a mi investigación.

El capítulo tres se definió la metodología a seguir para la investigación, decretando como se seleccionaron los sitios de estudio, que métricas se evaluaron y por qué se decidió evaluarlas. Se realiza una descripción de cómo se evaluó cada condición (sin marca existente, con dientes de dragón y con rayas con espaciamiento logarítmico), cuál fue el método para el procesamiento de datos y cómo se compararon los resultados entre sí.

Posteriormente, en el capítulo cuatro se plasmaron los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, estableciendo la caracterización del tránsito, cómo se desempeñó cada marca y la comparativa entre las diferentes marcas evaluadas.

Finalmente, se plantean las conclusiones en el capítulo 5, a las que se llegó con los resultados obtenidos, definiendo cuáles fueron las contribuciones obtenidas y aportando comentarios y sugerencias para trabajos futuros que se realicen en la misma línea de investigación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Ingeniería de Tránsito

2.1.1 Componentes del Sistema Vial

Los tres componentes que existen dentro del sistema vial son (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018): el usuario (peatones y conductores), el vehículo y la vialidad. A continuación, se describe cada uno y su injerencia en el sistema vial.

2.1.1.1 Usuario

La población en general es considerada como peatón, ya que todos los usuarios en algún momento de nuestro viaje nos volvemos un usuario peatonal.

2.1.1.2 Vehículo

De acuerdo con la Real Academia Española (2022), un vehículo es un medio de transporte de personas o cosas. El vehículo automotor es un medio de transporte que cuenta con motor y tracción propia y sirve para el transporte de personas o bienes. (Dirección Regional de Comunicaciones y Transportes, 2023).

2.1.1.3 Vialidad

La vialidad es el espacio adecuado para ser usado para el paso de vehículos, denominados rurales aquellas conocidas como carreteras y urbanas las conocidas como calles (dentro de las ciudades y poblados).

2.1.2 Oferta y Demanda Vial

De acuerdo con Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, en el 2018, la demanda vial es el número de usuarios de vehículos que requieren utilizar una vialidad existente para su recorrido, que sería el total de vehículos que se encuentren circulando sobre la vialidad existente.

Y la oferta vial es el total de vehículos que pueden circular sobre una vialidad, lo equivalente a la capacidad que tiene la carretera para circulación de vehículos (calles y carreteras) (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

2.1.3 Instalaciones de Flujo Continuo

Las instalaciones de flujo continuo o ininterrumpido no tienen ningún obstáculo o interrupción a lo largo del flujo del tráfico. Las autopistas son el mejor ejemplo de como opera una instalación de flujo continuo ya que no tienen dispositivos que paren el tráfico, los accesos a ellas están controlados y limitados a zonas específicas previamente establecidas. (Transportation Research Board, 2016).

2.1.4 Instalaciones de Flujo Interrumpido

Las instalaciones de flujo interrumpido tienen dispositivos de control que general retrasos periódicos al flujo vehicular, tales como señales de tránsito, glorietas, y señales de alto. Las calles dentro de las zonas urbanas son las instalaciones más comunes con este tipo de flujo. Las zonas de cruce peatonal y zonas exclusivas para bicicletas (ciclovías) también se consideran parte del flujo interrumpido (Transportation Research Board, 2016).

2.1.5 Métricas macroscópicas del flujo vehicular

2.1.5.1 Volumen y Tasa de Flujo

Se debe mencionar también cuales son las métricas principales del tráfico, acompañadas de su definición (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018):

- Volumen de tránsito: es el número de usuarios que pasan por un punto durante un tiempo específico, se calcula usando la Ecuación 2.1.

$$Q = \frac{N}{T} \quad (2.1)$$

Donde:

Q = usuarios que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N = número total de usuarios que pasan (vehículos o peatones)

T = periodo determinado (unidad de tiempo)

- Volumen de tránsito semanal (TS): es el número total de vehículos que pasan por un punto definido en un tiempo de una semana.
- Volumen de tránsito diario (TD): es el número total de vehículos que pasan por un punto definido en un tiempo de un día.

- Volumen de tránsito horario (TH): es el número total de vehículos que pasan por un punto definido en un tiempo de una hora.
- Tasa de flujo: es la constancia con la que pasan los vehículos por un punto definido, puede tratarse de un solo carril de circulación o de la vialidad completa, en un intervalo de tiempo menor a una hora. Existen dos tipos de flujo:
- Flujo continuo: cuenta con instalaciones que carecen de demora o interrupciones externas a la corriente de tráfico.
- Flujo interrumpido: son las instalaciones que tienen causas fijas de demora periódica o interrupciones en la corriente de tránsito, tales como semáforos, glorietas y señales de alto.

2.1.5.2 Densidad

La densidad es la cantidad de vehículos que existen en un momento dado sobre una longitud específica en una vialidad. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km) (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

2.1.5.3 Velocidad

Debemos también estar familiarizados con los términos de velocidad de operación y velocidad de proyecto, que se definen en la NOM-034-SCT2/SEDATU-2022 como:

- Velocidad de operación: Es la velocidad a la que los usuarios se conducen por una vialidad dadas las condiciones existentes. Para un propósito de determinación, se considera el percentil 85 de las velocidades medidas en un punto previamente definido como la velocidad de operación.
- Velocidad de Proyecto: Es la velocidad que se utiliza para realizar el proyecto de la vialidad, los dispositivos, dimensiones y configuraciones se hacen con base en la velocidad de proyecto propuesta.

2.1.6 Métricas Microscópicas del Flujo Vehicular

2.1.6.1 Intervalo

Definiremos dos tipos de intervalo, de acuerdo con Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018:

- Intervalo simple: es el intervalo de tiempo medido en segundos entre dos vehículos medido a partir de la misma parte del vehículo.
- Intervalo promedio: se trata del promedio de los intervalos simples, se expresa en s/veh.

2.1.6.2 Brecha

Se refiere a la distancia medida al paso entre dos vehículos consecutivos, se expresa en metros y se mide a partir del extremo trasero del auto.

2.1.6.3 Tiempo de Viaje

El tiempo de viaje es el tiempo total que le toma al usuario ir del punto A al punto B, contando las demoras experimentadas en el camino, los señalamientos existentes, obstáculos, semáforos y congestionamiento (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

2.1.7 Diagrama Fundamental

A partir de los conceptos de flujo, velocidad y densidad, a través de una deducción entre ellos se pueden obtener las características del flujo de tránsito, a partir de la cuales se pueden predecir comportamientos, modos de operación o del proyecto. Además, el conocer los conceptos de flujo, densidad y velocidad nos ayudan a determinar la calidad o nivel de servicio dentro de una vialidad o sistema de vialidades (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

Ya que el flujo, la velocidad y la densidad son los conceptos más importantes debemos definir que otras variables están relacionadas con ellos. En el caso del flujo es importante el intervalo de tiempo entre vehículos, para la velocidad son los tipos de velocidad ya mencionados previamente, adicionalmente la distancia de recorrido y el tiempo de recorrido. Para la densidad es importante conocer el espaciamiento entre vehículos consecutivos (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

Teniendo en cuenta estas relaciones, se explica por Cal y Mayor & Cárdenas Grisales (2018), que considerando un grupo de vehículos que se mueven a velocidad constante ($\bar{V}_e$), con un intervalo promedio ($\bar{h}$) y un espaciamiento promedio ($\bar{s}$) se pueden relacionar con la Ecuación 2.2.

$$\bar{s} = \bar{V}_e * \bar{h} \quad (2.2)$$

El flujo puede definirse en términos de tasa de flujo (q), velocidad (v) y la densidad (k). Ya que las unidades del intervalo promedio ($\bar{h}$) (s/veh) son inversas a la de la tasa de flujo (q) (veh/s) se puede plantear la relación definida en la Ecuación 2.3.

$$\bar{h} = \frac{1}{q} \quad (2.3)$$

Mismo caso para el espaciamiento promedio ($\bar{s}$) (m/veh) y la densidad (k), que tienen unidades inversas por lo que la relación entre ambos queda como se muestra en la Ecuación 2.4.

$$\bar{s} = \frac{1}{k} \quad (2.4)$$

Tomando en cuenta las dos relaciones anteriores y sustituyendo en la ecuación del espaciamiento promedio, se obtiene la Ecuación 2.5.

$$\frac{1}{k} = \bar{V}_e \left(\frac{1}{q} \right) \quad (2.5)$$

Despejando el flujo llegamos a la Ecuación 2.6.

$$q = \bar{V}_e * k \rightarrow q = V * k \quad (2.6)$$

A la anterior correlación se le conoce como la ecuación fundamental del flujo vehicular. Estableciendo las posibles combinaciones, que son:

- Velocidad – densidad (v, k).
- Flujo – densidad (q, k).
- Velocidad – flujo (v, q).

Los modelos para tratar de relacionar las diferentes parejas de las tres variables principales del flujo vehicular (q, v y k) se han basado en toma de datos y ajuste simple a curvas o regresión, todo esto lo menciona Cal y Mayor & Grisales, 2018, además de enlistar algunos de los modelos más importantes, lo cuales se mencionan a continuación:

2.1.7.1 Modelo lineal

B. D. Greenshields fue quien realizó estudios sobre la relación que existe entre la velocidad y la densidad. Fue a partir de un conjunto de datos con distintas condiciones de tránsito que propuso que existe una relación lineal entre las características del tránsito, velocidad (v) y la densidad (k), con lo cual llegó al modelo lineal presentando en la ecuación 2.7.

$$\bar{V}_e = V_l - \left(\frac{V_l}{k_c}\right) k \quad (2.7)$$

Donde:

$\bar{V}_e$ = velocidad media espacial (km/h)

k = densidad (veh/km/carril)

V_l = velocidad media espacial a flujo libre

k_c = densidad de congestionamiento (veh/km/carril)

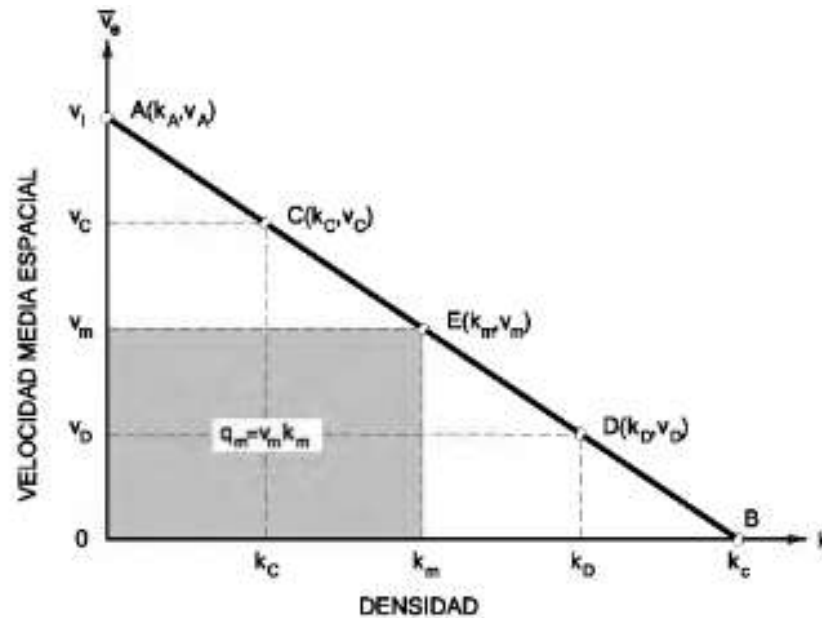


Figura 2-1. Relación lineal entre la velocidad y la densidad. Tomado de Cal y Mayor & Grisales, 2018.

A partir de la gráfica anterior puede decirse que a medida que aumenta la densidad disminuye la velocidad, desde un valor máximo o velocidad a flujo libre, hasta un valor mínimo de cero (ver Figura 2-1). Cuando se alcanza este valor mínimo en la velocidad es donde la densidad alcanza su valor máximo o de congestionamiento (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

El flujo (q), se puede representar en el diagrama velocidad – densidad, a través de la Ecuación fundamental (2.8).

$$q = vk \quad (2.8)$$

El producto de la velocidad por la densidad es el área de un rectángulo cuyo lado horizontal es la densidad (k) y cuyo lado vertical es la velocidad (v), por lo que cada

rectángulo tiene asociados dos flujos. En el rectángulo de área máxima, a la mitad de la recta se encuentra el flujo máximo (q_m), el cual se obtiene para los valores de v_m y k_m (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

$$v_m = \frac{v_l}{2} \quad (2.9)$$

$$k_m = \frac{k_c}{2} \quad (2.10)$$

Por lo tanto, el flujo máximo es:

$$q_m = v_m k_m \quad (2.11)$$

Sustituyendo tenemos:

$$q_m = \frac{v_l k_c}{4}$$

Ahora, sustituyendo la ecuación del modelo lineal de Greenshields en la ecuación fundamental tenemos:

$$q = vk = \bar{v}_e k = \left[v_l - \left(\frac{v_l}{k_c} \right) k \right] k \quad (2.12)$$

$$q = \left[v_l k - \left(\frac{v_l}{k_c} \right) k^2 \right] \quad (2.13)$$

En la Ecuación 2.12 el flujo (q) se expresa como una función parabólica de la densidad (k). Por lo tanto, la forma de la curva es la de una parábola como se muestra en la Figura 2-2.

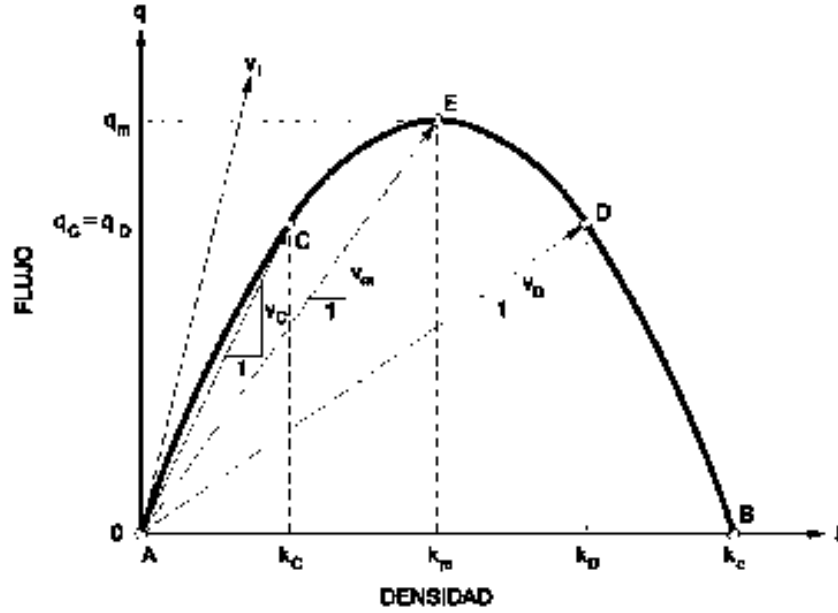


Figura 2-2. Relación parabólica entre el flujo y la densidad. Tomada de Cal y Mayor & Grisales, 2018.

Siguiendo con lo dicho por Cal y Mayor & Grisales en el 2018, la velocidad (v), se puede también representar en el diagrama de flujo – densidad, despejándola de la ecuación fundamental, quedando:

$$v = \frac{q}{k} \quad (2.14)$$

La relación entre la velocidad (v) y el flujo (q), se obtiene despejando la densidad (k) de la ecuación del modelo lineal de Greenshields:

$$k = k_c - \left(\frac{k_c}{v_l}\right) \bar{v}_e \quad (2.15)$$

$$q = \bar{v}_e k = \bar{v}_e \left[k_c - \left(\frac{k_c}{v_l}\right) \bar{v}_e \right] = \bar{v}_e k_c - \left(\frac{k_c}{v_l}\right) (\bar{v}_e)^2 \quad (2.16)$$

De donde:

$$\bar{v}_e = \frac{v_l}{2} \pm \frac{\sqrt{v_l^2 - 4 \left(\frac{v_l}{k_c}\right) q}}{2} \quad (2.17)$$

En esta última expresión, indica que entre la velocidad y el flujo existe una relación parabólica, donde para un valor determinado del flujo, hay asociados dos valores de

velocidad (v_C y v_D). En la medida que el flujo (q) aumenta, la velocidad progresivamente disminuye.

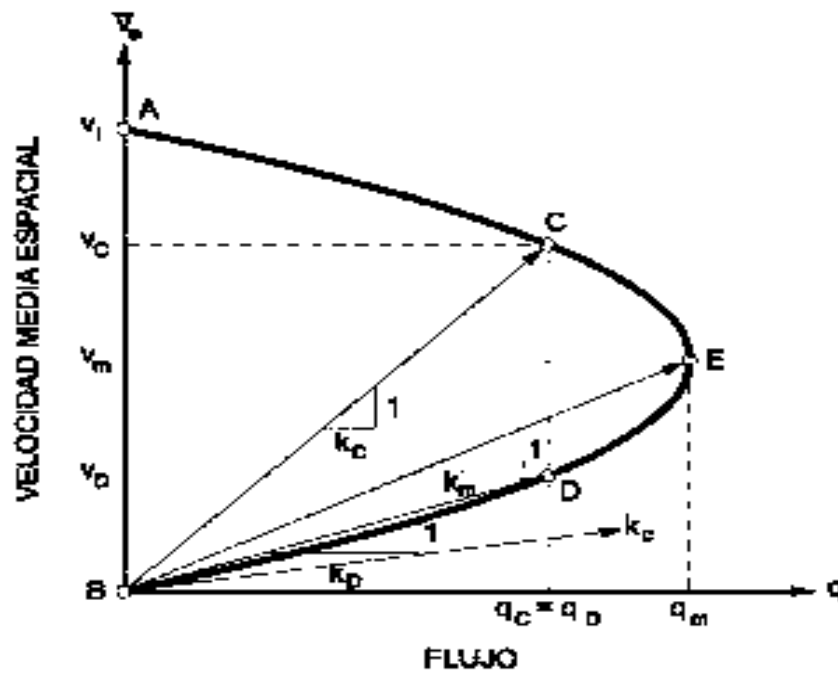


Figura 2-3. Relación parabólica entre la velocidad y el flujo. Tomada de Cal y Mayor & Grisales, 2018.

La densidad (k), también puede representarse en el diagrama velocidad – flujo, despejándola de la Ecuación fundamental (2.8):

$$k = \frac{q}{v} = \frac{1}{\frac{v}{q}} \quad (2.18)$$

Siguiendo con lo que mencionan Cal y Mayor & Cárdenas Grisales en el 2018, la relación velocidad – densidad, es el punto de partida de la mayoría de los modelos teóricos del flujo vehicular, la relación flujo – densidad es la base para el control del tránsito en autopistas, puesto que la densidad o concentración se puede expresar en términos del porcentaje de ocupación de tramos específicos en un momento dado; y la relación velocidad – flujo es utilizada principalmente para identificar los niveles de servicio y los niveles de productividad, finalmente se puede observar que las regiones correspondientes a flujos de tránsito no congestionados están limitadas por:

$$0 \leq q \leq q_m \quad (2.19)$$

$$v_m \leq \bar{v}_e \leq v_l \quad (2.20)$$

$$0 \leq k \leq k_m \quad (2.21)$$

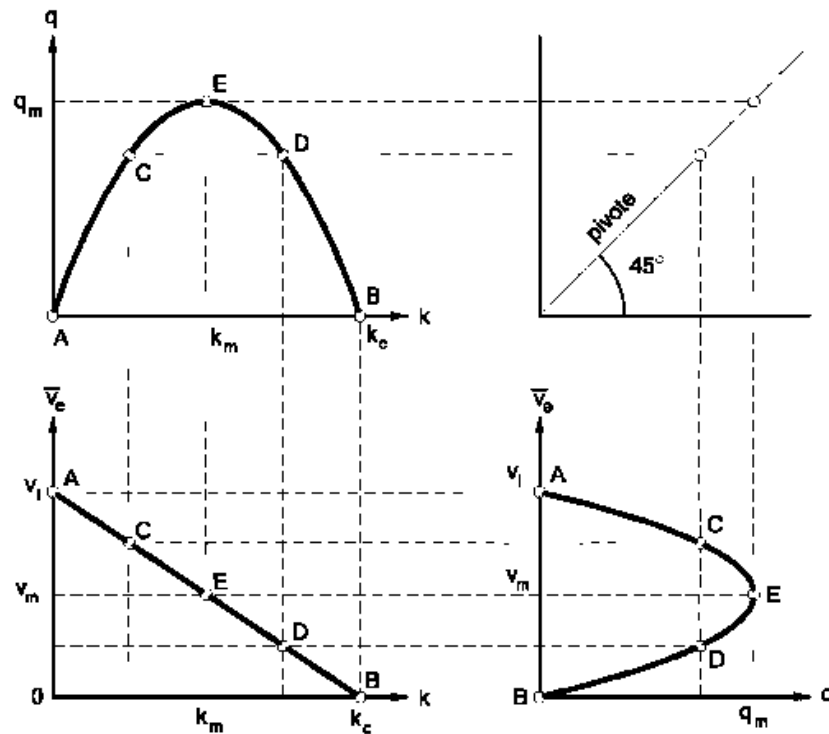


Figura 2-4. Diagrama fundamental del flujo vehicular. Tomada de Cal y Mayor & Grisales, 2018.

2.1.8 Capacidad y Niveles de Servicio

Cuando se realiza la planeación de una nueva vialidad (calle o carretera) la demanda vehicular actual y a futuro se asumen como un parámetro conocido. Una manera de medir que tan eficiente es un sistema vial es a través de la capacidad que puede ofrecer la vialidad (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

En continuación con las definiciones de Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018, el nivel de servicio es con cual podemos medir de manera cualitativa como operan una vialidad. Dentro de los factores que afectan el nivel de servicio son la velocidad a la que pueden circular los vehículos (que no tengan que irse deteniendo), el tiempo de recorrido, la libertad con la que pueden conducirse por la vialidad, que tan cómodo es transitar por la misma, si es conveniente utilizarla sobre otra ruta y si es una vialidad segura.

Las condiciones de operación de los niveles de servicio que existen van de la A a la F, siendo la A el nivel ideal y F el peor nivel de servicio.

2.2 Señalamiento Vial

2.2.1 Señalamiento Vertical

El señalamiento vertical tiene como finalidad dar a conocer la existencia de las características de la carretera (ya sea para cuestiones preventivas, informativas o restrictivas), donde se señalan limitaciones que pueda tener la vialidad, prohibiciones o información que guíe a los usuarios dentro de sus recorridos, dar a conocer sitios de interés (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).

De acuerdo con el Manual de Señalización y Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras del 2024 de la SICT tienen la siguiente clasificación:

- Por su función: Incluye las categorías descritas en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Clasificación funcional del señalamiento vertical (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024)

Clasificación	Tipo de señales
SP	Señales preventivas
SR	Señales restrictivas
SI	Señales informativas
SII	Señales informativas de identificación
	De nomenclatura
	De ruta
	De kilometraje
	De salida
SID	Señales informativas de destino
	Previas
	Diagramáticas
	Decisivas
	Confirmativas
SIR	Señales informativas de recomendación
SIG	Señales de información general
STS	Señales turísticas y de servicios
SIT	Señales turísticas
SIS	Señales de servicios
OD	Señales adicionales

OD-5	Indicadores de obstáculos
OD-8	Reglas para vados y zonas inundables
OD-12	Indicadores de curvas cerradas

2.2.2 Señalamiento Horizontal

En el Manual de Señalización y dispositivos para el Control de Tránsito en Calles y Carreteras del 2024 de la DGST tenemos la siguiente definición del señalamiento horizontal:

El señalamiento horizontal es el conjunto de marcas y dispositivos que se pintan o colocan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras con el propósito de delinear las características geométricas de las carreteras y vialidades urbanas. Sirve también para denotar todos aquellos elementos estructurales que estén instalados dentro del derecho de vía, para regular y canalizar el tránsito de vehículos y peatones, así como proporcionar información a los usuarios. Estas marcas y dispositivos son: rayas, símbolos, leyendas, botones, botones reflejantes o delimitadores. Se clasifican de acuerdo a la Tabla 2-2:

Tabla 2-2. Clasificación de las marcas y dispositivos para el señalamiento horizontal (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).

Clasificación	Nombre
M-1	Raya separadora de sentidos de circulación
M-2	Raya separadora de carriles
M-3	Raya en la orilla del arroyo vial
M-4	Rayas de trayectorias en intersecciones
M-5	Rayas canalizadoras
M-6	Raya de alto
M-7	Rayas para cruce de peatones
M-8	Marcas para cruce de ferrocarril
M-9	Rayas con espaciamiento logarítmico
M-10	Marcas para estacionamiento
M-11	Rayas, símbolos y leyendas para regular el uso de carriles
M-12	Marcas en guarniciones
M-13	Marcas en estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura
M-14	Marca de emergencia para frenado

M-15	Marcas para vías ciclistas
M-16	Marcas temporales
M-17	Marca de área de espera para vehículos no motorizados y motocicletas
M-18	Marca de ceda el paso
M-19	Marcas para indicar prohibiciones
M-20	Marcas para identificar reductores de velocidad

2.2.2.1 Marcas

2.2.2.1.1 Marcas sobre el pavimento

Dentro de las principales marcas en el pavimento se encuentran las siguientes (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024):

- Raya continua sencilla
- Raya discontinua sencilla
- Raya continua-discontinua sencilla
- Raya continua doble
- Raya separadora de carriles
 - Raya separadora de carriles, continua sencilla.
 - Raya separadora de carriles, continua doble.
 - Raya separadora de carriles, discontinua.
- Raya en la orilla del arroyo vial
- Raya de trayectorias en intersecciones
- Rayas canalizadoras
- Rayas de alto: Se colocan en calles, carreteras y ciclovías para indicar el punto donde deben detenerse los vehículos, deben estar colocadas con un señalamiento adicional que puede ser una señal vertical de alto o un semáforo. Se debe pintar en lo ancho de todos los carriles que circulen sobre el mismo sentido de color blanco con pintura reflejante (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).
- Rayas para cruce de peatones
- Rayas con espaciamiento logarítmico: Según la Dirección General de Servicios Técnicos en 2024, las rayas con espaciamiento logarítmico se utilizan en calles y carreteras previas a zonas donde el usuario deba estar alerta como pueden ser cruces escolares, de vías férreas, o algún sitio que por las condiciones existentes de la vía

se deba reducir la velocidad. Para su colocación deben ser pintadas de color blanco con pintura reflejante, tienen un ancho de 60 cm y se pintan de manera perpendicular al sentido de circulación en todo lo ancho del carril; las rayas se complementan con botones alertadores. La longitud total que debe pintarse con rayas con espaciamiento logarítmico, así como el total de rayas, y la separación se definen con respecto al diferencial de velocidad que busca reducirse, en la Tabla 2-3 se presenta la configuración del pintado de la marca

Tabla 2-3. Separación entre rayas con espaciamiento logarítmico (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).

	Diferencia de velocidades (km/h) / Número de líneas requeridas						
	20 / 13	30 / 20	40 / 26	50 / 32	60 / 38	70 / 44	80 / 51
Separación entre rayas	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25
	11.75	12.55	13.1	13.5	13.7	13.9	14.05
	9.55	10.7	11.5	12.05	12.5	12.8	13.05
	8.05	9.3	10.25	10.9	11.45	11.85	12.15
	6.95	8.25	9.25	10	10.6	11.05	11.4
	6.1	7.4	8.4	9.2	9.8	10.3	10.7
	5.5	6.7	7.7	8.5	9.15	9.7	10.1
	4.95	6.1	7.15	7.95	8.6	9.15	9.6
	4.5	5.65	6.6	7.4	8.1	8.65	9.1
	4.15	5.25	6.2	7	7.65	8.2	8.65
	3.85	4.85	5.8	6.6	7.25	7.8	8.25
	3.55	4.55	5.45	6.25	6.9	7.45	7.9
		4.3	5.15	5.9	6.55	7.1	7.55
		4.05	4.9	5.6	6.25	6.8	7.25
		3.85	4.65	5.35	6	6.55	7
		3.65	4.45	5.1	5.75	6.3	6.75
		3.45	4.25	4.9	5.5	6.05	6.5
		3.3	4.05	4.7	5.3	5.8	6.25
		3.15	3.9	4.5	5.1	5.6	6.05
			3.75	4.35	4.9	5.4	5.85
			3.6	4.2	4.75	5.25	5.65
			3.45	4.05	4.6	5.1	5.5
			3.3	3.9	4.45	4.95	5.35
			3.2	3.75	4.3	4.8	5.2
			3.1	3.65	4.2	4.65	5.05
				3.55	4.1	4.5	4.9
				3.45	4	4.35	4.75
				3.35	3.9	4.25	4.65

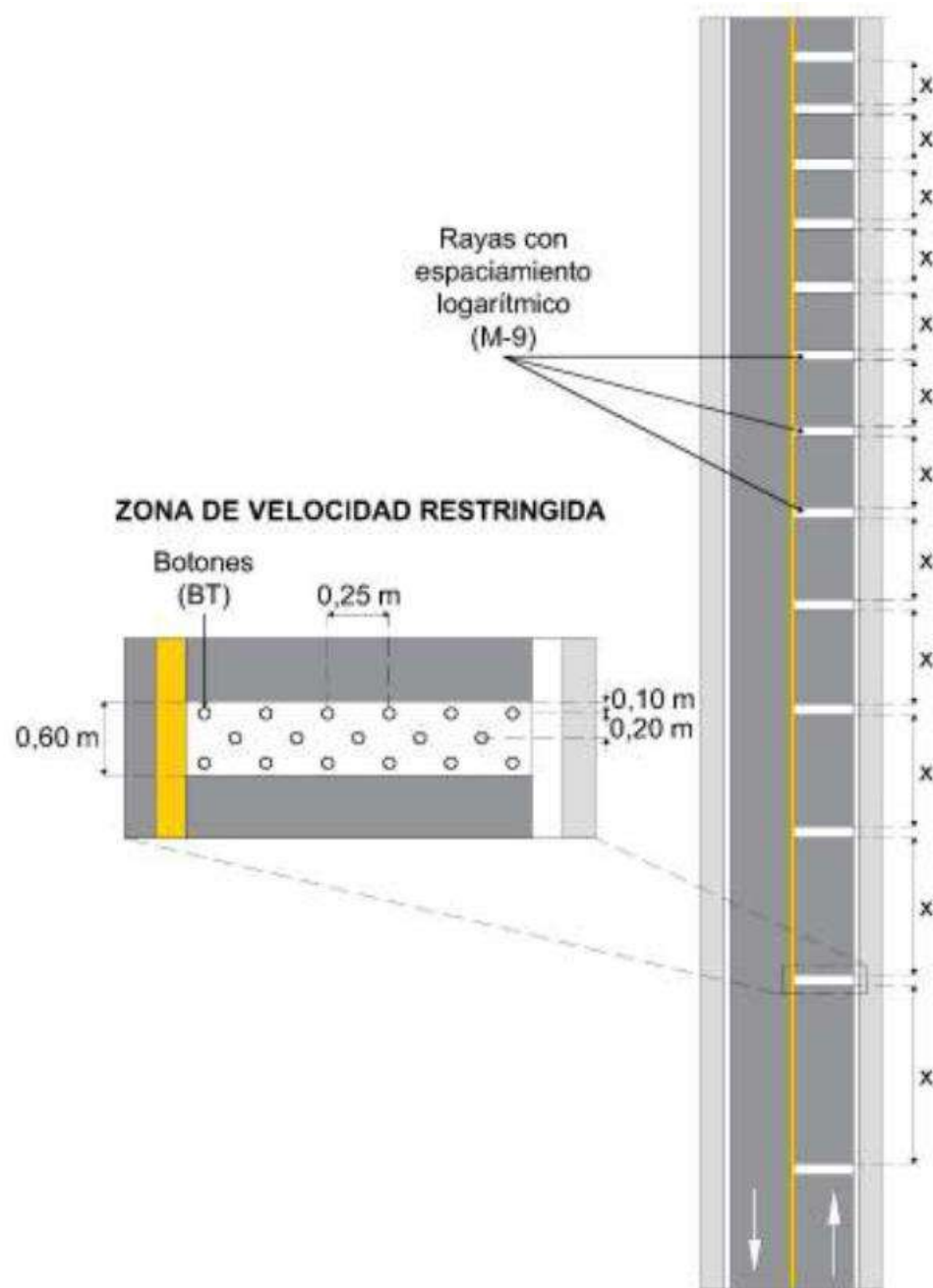


Figura 2-5. Rayas con Espaciamiento Logarítmico. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.

- Rayas, símbolos y leyendas para regular el uso de carriles.
- Flechas y leyendas en carriles: Se utilizan para indicar a los usuarios automotores los movimientos permitidos desde cada carril, deben ser de color blanco reflejante

y deben colocarse a una distancia que de suficiente tiempo para que el usuario ecoja su movimiento con anticipación. (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024). Las flechas, símbolos y leyendas deben estar pintadas de manera alargada en la dirección del tráfico para que se puedan observar de manera correcta al circular por la vía (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).

Las leyendas no deben tener más de tres palabras. Si la leyenda lleva más de una palabra deben colocarse en renglones separados, colocando la primera palabra de forma que sea la más próxima al conductor. En vías de circulación con velocidades mayores a 50 km/h, y que existe un alto flujo de tráfico se debe buscar que las leyendas sean únicamente de un solo renglón (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024).

- Para indicar velocidad en el carril: Son marcas que sirven para indicar a los usuarios la velocidad límite sobre la que deben circular, va expresado en múltiplos de 10 en 10. Debe colocarse al inicio de donde empieza a regir la velocidad pintada, también en zonas con un alto tránsito peatonal, en zonas donde existe alguna reducción de la vía o de puentes angostos, también en desviaciones o incorporaciones para indicar a los usuarios que se incorporan cual es la velocidad de la vía a la que pasan a circular. Deben ser de color blanco reflejante y deben ir complementadas con la señal restrictiva SR-9 Velocidad.(Dirección General de Servicios Técnicos, 2024). Estas marcas están integradas por un óvalo que tiene un ancho de raya de 10 cm, de 4 metros de largo y de 2 m de ancho para vialidades con una velocidad máxima de 50 km/h, y de 6 m de largo y 3 m de ancho para una velocidad mayor a 50 km/h. (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024). En la Figura 2-6 se presenta un esquema para ilustrar como se colocan las marcas dependiendo de la velocidad correspondiente:

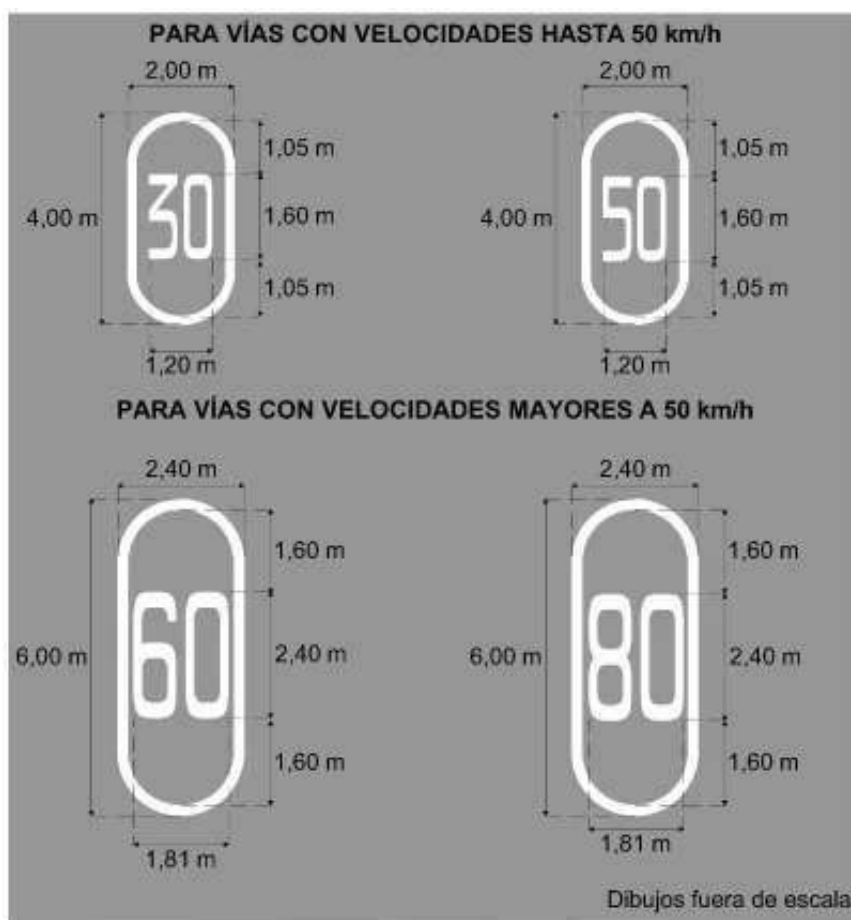


Figura 2-6. Marcas para indicar velocidad en el carril. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.

2.2.3 Dispositivos diversos

La finalidad de los dispositivos diversos es ser un complemento para las marcas colocadas sobre el pavimento, así como dar advertencia a los usuarios de situaciones que representen un cambio en la vía (Dirección General de Servicios Técnicos, 2024). De acuerdo a la Dirección General de Servicios Técnicos en el 2024, tienen la clasificación mostrada en la Tabla 2-4:

Tabla 2-4. Clasificación de los dispositivos diversos, Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.

Clasificación	Nombre
DD-1	Indicadores de alineamiento
DD-2	Baliza

B	Botones
DC	Delimitadores para confinamiento
DD-4	Limitadores de gálibo
DD-5	Barreras fijas para peatones y ciclistas
DD-6	Parapetos para peatones y ciclistas
RV	Reductores de velocidad
DD-7	Limitadores de sentido
DD-8	Dispositivos antideslumbrantes
DD-9	Barreras para el control de paso de vehículos
DD-10	Bolardos

2.2.4 Disipadores de tránsito

Los disipadores de tránsito o medidas pacificadoras de tráfico como suelen mencionarse en la literatura existente, utilizan métodos específicos para reducir y controlar la velocidad de los vehículos a un nivel esperado dependiendo de las actividades donde se encuentre el camino al que se ingresa. También buscan que el usuario adopte una velocidad uniforme sin una excesiva aceleración o desaceleración, ayudando a influencias a los automovilistas en que mejoren su comportamiento con el resto de los usuarios de los caminos (peatones, ciclistas y transporte público) (The Highways Agency, 2004).

Dentro de las distintas medidas pacificadoras de tráfico que existen, el Departamento de Transporte del Reino Unido, enlista algunos en una nota publicada en el 2007, titulada “Traffic Calming”, los cuales se mencionan a continuación:

- Road Humps o conocidos en México como topes o reductores de velocidad. Son aplicables a la mayoría de caminos, son muy efectivos, aunque pueden afectar la experiencia del usuario al tratarse de un obstáculo físico que se encuentra sobre el camino. La forma ideal para un reductor de velocidad es un perfil circular que abarca el ancho del camino por 10 centímetros de altura (Watts, 1973).

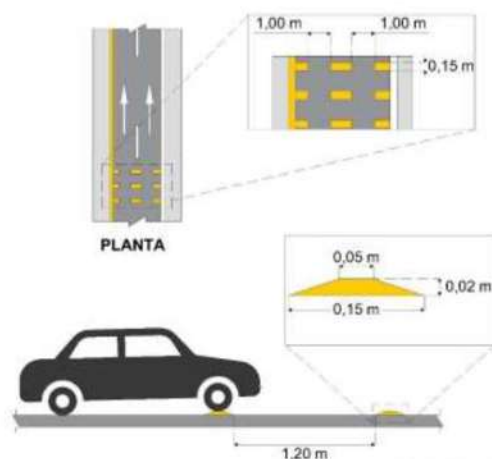


Figura 2-7. Reductor de velocidad. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.

- Rumble devices o vibradores. Son áreas a lo largo del camino con un efecto vibratorio, sonoro y visual para los usuarios. Suelen utilizarse en caminos rurales para advertir a los conductores sobre algún cambio en la vía como puede ser una incorporación o alguna curva pronunciada.

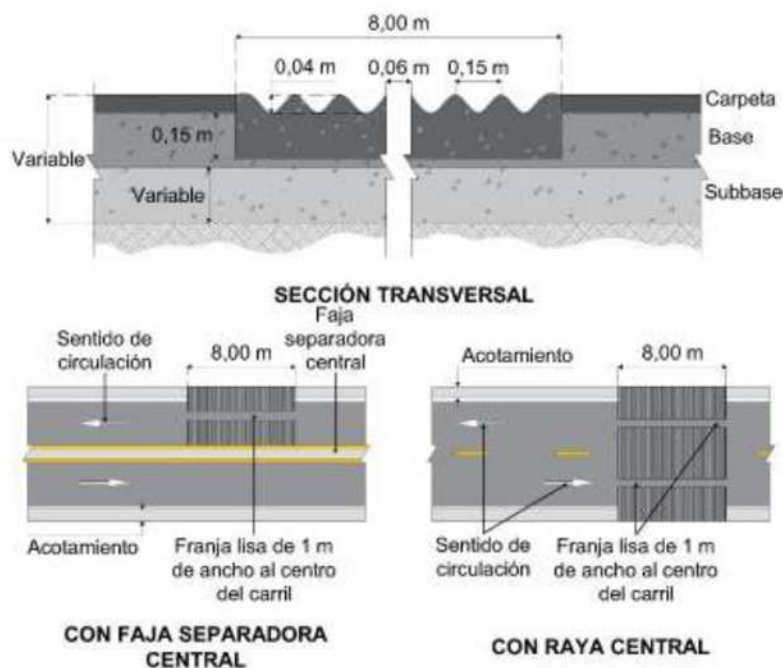


Figura 2-8. Reductor de velocidad tipo vibrador. Tomada de Dirección General de Servicios Técnicos, 2024.

- Narrowings and chicanes o estrechamiento o cambio de la geometría del camino. Son cambios realizados en el balizamiento de los carriles para influenciar al usuario a disminuir la velocidad, existen varios métodos utilizados en el Reino Unido, como disminuir el ancho del carril, islas de tráfico o refugios para peatones. Estos métodos no deben impedir el acceso físico y deben estar diseñados para todos los tipos de vehículos que circular sobre la vialidad donde se colocan. Dentro de estos métodos también se encuentran las marcas pacificadoras de tráfico como son las rayas con espaciamiento logarítmico, las rayas zigzag, las rayas tipo chevron, la marca “Dientes de Dragón” y las líneas periféricas.



Figura 2-9. Reducción de carril. Tomada de Street Design Manual, 2022.

- Roundabouts o glorietas. Las glorietas suelen utilizarse para dar fluidez al tráfico y no crear puntos de congestionamiento, pero, las mini glorietas suelen utilizarse para reducir la velocidad de los usuarios al llegar a una zona de cruce o conflicto, deben diseñarse de manera que los ciclistas y peatones puedan cruzar de manera segura, tomando en cuenta siempre la preferencia de paso. En el caso de la mini glorietas es recomendable que se coloquen donde los accesos a ella sean de un solo carril por sentido y no incorporar salidas “fáciles” de la misma. Se recomiendan para caminos con una velocidad de diseño máxima de 30 millas por hora (50 km/h).



Figura 2-10. Glorieta. Tomada de El Sol de Morelia, 2023.

- Vehicle activated signs o señales activadas para vehículos, son señales LED que exhiben al usuario de conducir a exceso de velocidad y se colocan donde otras marcas o métodos no han funcionado para reducir la velocidad de los usuarios. Después del letrero luminoso puede activarse la señal del límite de velocidad acompañado de la leyenda “Disminuya su Velocidad”. En México suele utilizarse señalamiento vertical con los límites de velocidad, además de señales de alto, señales informativas de recomendación con la leyenda “Respete el límite de velocidad” y “Este camino no es de alta velocidad”.



Figura 2-11. Señal activada para vehículos. Tomada de El Blog Coyote, 2019.

2.3 Zonas de transición

La Asociación Americana de Carreteras y Transporte Estatales (AASHTO por sus siglas en inglés), a través del documento “Política sobre Diseño Geométrico de Carreteras y Calles” publicado en el 2011, hace una distinción en la frontera entre el diseño de caminos de alta velocidad y de caminos de baja velocidad. Esta frontera se encuentra entre 45 y 50 millas por hora (72 y 80 km/h). Se define que en donde se encuentra la reducción de velocidad de un camino de la alta velocidad a un camino de baja velocidad, es una zona de transición donde los conductores que vienen en el sentido que decrece la velocidad bajen su velocidad para que circulen de acuerdo al ambiente al que están entrando.

La zona de transición está definida como la sección de camino que es continua y conecta una sección con una velocidad límite alta con una sección de camino con una velocidad límite menor (Forbes, 2011). No se debe considerar un punto específico, debe tomarse en cuenta una longitud del camino donde ocurre el cambio de velocidad.

Los usuarios requieren zonas de transición diseñadas de manera que reduzcan su velocidad de manera gradual, para esto es necesario tener controles de tráfico adecuados para que realicen las maniobras de manera correcta y segura (Torbic, y otros, 2012).

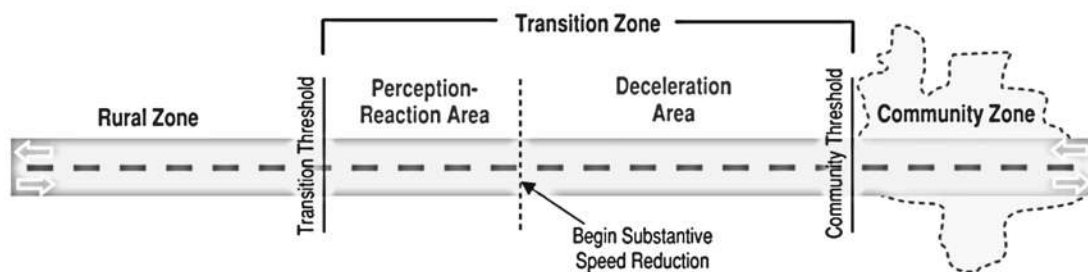


Figura 2-12. Zona de Transición. Tomada de NCHRP, 2012.

2.4 Estadística

2.4.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva desarrolla un conjunto de técnicas cuya finalidad es presentar y reducir los diferentes datos observados (Fernández Fernández, Cordero Sánchez, & Córdoba Largo, 2002).

De acuerdo con el libro de Estadística Descriptiva de Fernández Fernández et al. (2002), la presentación de los datos se realiza mediante su ordenación en tablas y su posterior representación gráfica.

La estadística descriptiva también desarrolla técnicas que estudian la dependencia que puede existir entre dos o más características observadas en una serie de individuos, que se denominan técnicas de regresión y correlación (Fernández Fernández, Cordero Sánchez, & Córdoba Largo, 2002).

A continuación, se describen conceptos básicos de la estadística, todos ellos de acuerdo con el libro de Estadística Descriptiva de Fernández Fernández et al. (2002):

- Población: Es un conjunto de personas, objetos, conceptos, eventos, que se estudian de manera estadística y que comparte desde una o más características.
- Elementos de la población: Cada elemento individual que componen a una población.
- Tamaño de la población: El número total de elementos en una población, que puede ser finito o infinito.
- Caracteres: Las propiedades, rasgos o cualidades que poseen los elementos de una población.
- Variable: Cualquier característica de los elementos de una población que puede tomar valores numéricos.
- Atributo: Cualquier característica de los elementos de una población que no se puede medir numéricamente.
- Modalidades: Las diferentes formas en que puede presentarse un atributo.

Las medidas de posición son otra parte importante de la estadística descriptiva, como se menciona en el libro de Estadística Descriptiva (2007) de José María Montero Lorenzo, existen las medidas de posición central y las medidas de posición no central. Dentro del

primer grupo de medidas de posición mencionado se encuentra la media (aritmética, geométrica y armónica), la mediana y la moda.

En cambio, las medidas de posición no central se denominan genéricamente cuantiles y son aquellos valores de la variable, ordenados en un sentido creciente, que dividen la distribución en partes, de tal manera que cada una de ellas contiene el mismo número de frecuencias. Por ejemplo, cuartiles (dividen la distribución en 4), deciles (dividen la distribución en 10) y percentiles (dividen la distribución en 100). Como ejemplo, el percentil 25 es el valor por debajo del cual se encuentra el 25% de los datos. (Lorenzo, 2007).

2.4.2 Estadística inferencial

Dentro de la estadística inferencial podemos denotar las siguientes definiciones de acuerdo con Llinás Solano (2017):

- Muestreo aleatorio simple: Es el muestreo en el que cualquiera de las muestras tiene la misma probabilidad de ser elegido.
- Muestreo (aleatorio) estratificado: Es el muestro en un estrato específico de la población.
- Muestreo sistemático: Funciona de manera que primero se realiza un muestreo aleatorio de los componentes y posterior se hace una selección a partir de un sistema establecido.
- Estadístico muestral: Es una función particular derivada de la información muestral. Por ejemplo, si se extrae una muestra aleatoria de una población y se desea hacer inferencias sobre ciertas características de la distribución de la población, esta inferencia se basa en un estadístico muestral.
- Distribución muestral: Se define como la distribución de probabilidades de los valores que puede tomar el estadístico a través de todas las muestras posibles con el mismo número de observaciones que pueden ser extraídas de la población.

2.4.3 La distribución *T* de Student

En 1908, el investigador W.S. Gosset describió la distribución de una variable como $t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$ cuando el muestreo se hace en una población que está distribuida normalmente. Esta

distribución, conocida con el nombre de “Distribución t de Student, permite hacer inferencias acerca de medias poblacionales cuando no se conoce la desviación típica de la población. (Solano, 2017).

La distribución t tiene forma de campana y una media de 0, siendo simétrica respecto a esta. Sin embargo, su varianza es mayor que 1, lo que hace que la distribución t típica sea menos pronunciada en el centro y más elevada en las colas en comparación con la distribución normal estándar.

En la Figura 2-13 se observa la diferencia entre la distribución normal y una distribución t.

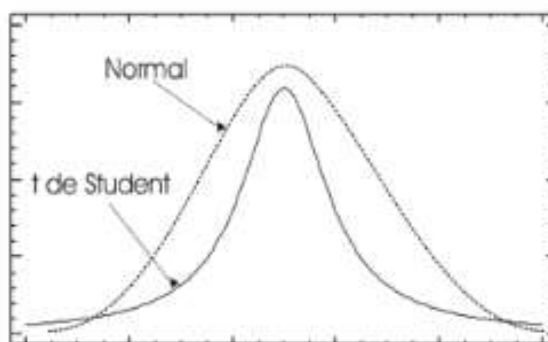


Figura 2-13. Distribución normal y distribución t.

2.4.4 Prueba T de muestras emparejadas o pareadas.

El procedimiento de una prueba T pareada compara las medias de dos variables dentro de un solo grupo. Calcula las diferencias entre los valores de las dos variables en cada caso y verifica si la media difiere de 0. Además, el procedimiento automatiza el cálculo del tamaño del efecto de la prueba t. (IBM, 2021).

Se deben tener consideraciones sobre los datos, de acuerdo con el sitio web de IBM (2021) sobre las pruebas t pareadas para los datos se deben especificar dos variables cuantitativas para cada prueba de pares. En un estudio de pares relacionados o de control de casos, la respuesta de cada sujeto de prueba y su sujeto de control correspondiente deben estar en el mismo conjunto de datos. Para los supuestos, las observaciones de cada par deben hacerse en las mismas condiciones. Las diferencias entre las medias deben estar normalmente distribuidas. Las varianzas de cada variable poder ser iguales o desiguales.

En la ecuación 2.22 podemos observar como se calcula el valor t estadístico de para par de muestras emparejadas.

$$t_{est} = \frac{\bar{d}}{SD_p / \sqrt{n_p}} \quad (2.22)$$

Donde:

t_{est} : valor t estadístico calculado de la comparación de escenarios
 $\bar{d}$: valor medio de la diferencia entre las observaciones emparejadas
 SD_p : desviación estándar de la diferente entre las observaciones emparejadas, y
 n_p : número de pares

2.4.5 Técnica Random Forest (Bosque Aleatorio)

De acuerdo con el portal de IBM (2024) en su nota “¿Qué es el random forest?”, el random forest es un algoritmo de aprendizaje automático ampliamente utilizado, registrado por Leo Breiman y Adele Cutler. Este método combina los resultados de varios árboles de decisión para obtener un único resultado. Su facilidad de uso y flexibilidad han fomentado su adopción, dado que puede abordar tanto problemas de clasificación como de regresión. Ahora, de acuerdo con la nota, dado que el modelo random forest se compone de varios árboles de decisión, sería útil comenzar describiendo brevemente el algoritmo del árbol de decisión.

Los árboles de decisión plantean preguntas que constituyen los nodos de decisión en el árbol, funcionando como un medio para dividir los datos. Cada pregunta ayuda a llegar a una decisión final, indicada por un nodo hoja. Cuando varios árboles de decisión se agrupan en el algoritmo random forest, predicen resultados más precisos, especialmente cuando los árboles individuales no están correlacionados entre sí (IBM, 2024).

Continuando con lo mencionado en la nota de IBM (2024) sobre ¿Qué es el random forest?”, vamos a definir los métodos de conjunto, las características del algoritmo de random forest, cómo funciona el algoritmo y hacer mención de las principales ventajas y desafíos de esta técnica.

2.4.6 *Métodos de conjunto*

Los métodos de aprendizaje por conjuntos consisten en un grupo de clasificadores, como los árboles de decisión, cuyas predicciones se combinan para determinar el resultado más frecuente.

Los métodos de conjuntos más populares son el ensacado, también conocido como agregación de arranque, y el impulso. En el método de ensacado, se selecciona una muestra aleatoria de datos para un conjunto de entrenamiento con reemplazo, lo que significa que los mismos puntos de datos pueden ser elegidos varias veces. Tras generar varias muestras de datos, estos modelos se entrenan independientemente y, según el tipo de tarea (ya sea regresión o clasificación), el promedio o la mayoría de esas predicciones proporcionan una estimación más precisa. Este método se utiliza comúnmente para reducir la variabilidad en un conjunto de datos ruidoso.

2.4.7 *Algoritmo de random forest*

El algoritmo de random forest es una extensión del método de ensacado, ya que combina tanto el ensacado como la aleatoriedad de características para formar un conjunto no correlacionado de árboles de decisión.

La aleatoriedad de características, o agrupación de características, crea un subconjunto aleatorio de características, lo que asegura una baja correlación entre los árboles de decisión. Mientras que los árboles de decisión consideran todas las posibles divisiones de características, los bosques aleatorios solo seleccionan un subconjunto de estas.

2.4.7.1 ¿Cómo funcionan los algoritmos de random forest?

Los algoritmos tienen tres parámetros principales:

- Tamaño del nodo.
- Cantidad de árboles.
- Cantidad de características muestreadas.

El algoritmo random forest consiste en un grupo de árboles de decisión, y cada árbol dentro del grupo se forma a partir de una muestra de datos extraída del conjunto de entrenamiento con reemplazo, denominada bosque de arranque.

De esta muestra de entrenamiento, un tercio se reserva como datos de prueba, conocidos como muestra fuera de la bolsa (oob). Además, se añade otra capa de aleatoriedad mediante el agrupamiento de características, lo que aumenta la diversidad del conjunto de datos y reduce la correlación entre los árboles de decisión..

Según el tipo de problema, la predicción se determinará de manera diferente: para una tarea de regresión, se promediarán las predicciones de los árboles individuales, y para una tarea de clasificación, se realizará un voto mayoritario, es decir, se seleccionará la variable categórica más frecuente como la clase predicha.

2.4.7.2 Ventajas y desafíos del random forest

Los principales beneficios del método de random forest son:

- Cuando hay una gran cantidad de árboles de decisión en un random forest, el clasificador no se ajusta excesivamente al modelo, ya que el promedio de árboles no correlacionados disminuye la varianza general y el error de predicción.
- La agrupación de características hace que el clasificador de random forest sea eficaz para estimar valores perdidos, ya que mantiene la precisión incluso cuando falta una parte de los datos.

El random forest facilita la evaluación de la importancia o contribución de las variables al modelo. Existen varias formas de evaluar la importancia de las características, siendo la importancia de Gini y la disminución de impurezas (MDI) las más utilizadas para medir cuánto disminuye la precisión del modelo al excluir una variable específica.

Ahora, los principales desafíos que tiene la utilización del random forest son:

- Que, dado que los algoritmos de random forest son capaces de manejar grandes conjuntos de datos, lo que les permite proporcionar predicciones más precisas. Sin embargo, pueden ser lentos en el procesamiento de datos, ya que calculan la información para cada árbol de decisión individualmente.
- Requieren más recursos para almacenar los datos.
- La predicción de un único árbol de decisiones es más fácil de interpretar en comparación que con un bosque de ellos, por lo que se vuelve más complejo.

2.4.8 Regresión Lasso

La técnica de regresión Lasso propone contraer algunos coeficientes del conjunto de datos y otros volverlos 0, y así poder conservar las características de mayor importancia en los subconjuntos y en la regresión (Tibshirani, 1996).

La regresión lineal Lasso se utiliza para estimar modelos de regresión lineal regularizados por pérdida, para una variable dependiente en una o más variables independientes. Este método incluye opciones para visualizar gráficos de rastreo y seleccionar el valor del hiperparámetro alfa basado en la validación cruzada. Además de ajustar un modelo con un valor específico del parámetro de regularización alfa, la regresión Lasso puede mostrar un gráfico de valores de coeficiente para un rango de valores alfa, o facilitar la selección del valor del hiperparámetro mediante la validación cruzada de k-fold en cuadrículas específicas de valores. Si se ajusta un único modelo o se selecciona un valor alfa mediante la validación cruzada, el modelo final se puede aplicar a los datos retenidos creados a partir de una partición de los datos de entrada para obtener una estimación válida del rendimiento fuera de la muestra del modelo (IBM, 2022).

La regresión Lasso se utiliza con frecuencia en el aprendizaje automático para manejar datos de alta dimensión, ya que facilita la selección automática de características con su aplicación. Para ello, añade un término de penalización a la suma residual de cuadrados, que luego se multiplica por el parámetro de regularización aplicada (λ). Este parámetro de regularización controla la cantidad de regularización aplicada. Los valores más grandes de λ aumentan la penalización, reduciendo más los coeficientes hacia 0. Posteriormente, esto reduce la importancia de (o elimina por completo) algunas de las características del modelo, lo que resulta en la selección automática de características. Por el contrario, los valores más pequeños de λ reducen el efecto de la penalización, conservando más características dentro del modelo (IBM, 2024).

El equilibrio entre el sesgo y la varianza son de gran importancia en este método, ya que miden la precisión del modelo en los conjuntos de entrenamiento y prueba, respectivamente. Reducir simultáneamente el sesgo y la varianza no siempre es factible, de ahí la necesidad de técnicas de regularización, como la regresión lasso (IBM, 2024).

En la regresión Lasso, la λ (λ), también conocida como penalización L1, realiza el equilibrio entre el sesgo y la varianza en los coeficientes resultantes (IBM, 2024).

$$RS_{lasso} = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta(x_i))^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| \quad (2.23)$$

Donde:

RS_{lasso} : Regresión Lasso

y_i : valor observado de la variable dependiente del i-ésimo caso

x_i : vector de características de i-ésimo caso

β : vector de coeficientes que queremos estimar, y

λ : parámetro de regularización aplicada

2.5 Trabajos relacionados

Se han realizado múltiples pruebas con diferentes marcas pacificadoras de tránsito, donde en varias de ellas se incluye la marca dientes de dragón. A continuación, veremos los estudios más relevantes acerca de las marcas pacificadoras de tránsito.

En un artículo de revisión realizado por Babic et al. (2020) se busca proporcionar una manera sistemática de revisar las investigaciones académicas más importantes que tienen que ver con las marcas pacificadoras de tráfico y su importancia como elemento de seguridad. Se identificaron los estudios en dos grupos:

- a) Estudios con un impacto en el comportamiento de los conductores, y
- b) el impacto de las marcas en el pavimento para la seguridad vial.

Regresando un poco, en un estudio presentado en la Road Safety on Four Continents Conference en el año 2013 se comparó la efectividad de la marca dientes de dragón y de la marca de líneas reguladoras de velocidad, se seleccionaron dos curvas con características geométricas similares para poder compararlas, adicional se probaron ambas marcas colocadas previo a la curva y durante la curva, los resultados obtenidos fueron que la marca dientes de dragón redujo hasta 25 km/hr cuando se colocó durante la curva y las líneas reguladoras de velocidad únicamente redujeron 12 km/hr. (Yew Wei et al., 2013).

En ese mismo año se realizaron pruebas para cinco diferentes tipos de marcas en el pavimento, se seleccionaron cuarenta y dos conductores y se analizó la efectividad de cada marca (Lee et al., 2013). Las marcas que se evaluaron son las ‘Líneas Transversales’ que son una serie de líneas perpendiculares al camino que van variando la distancia entre ellas para alertar al usuario sobre la zona a la que está llegando, la siguiente marca que se evaluó

son las ‘Líneas Periféricas Transversales’ que son una serie de barras colocadas de manera perpendicular al camino pero sin ocupar la totalidad del carril, la tercera marca evaluada son las ‘Líneas Chevrón Convergentes’ que consisten en líneas en forma de V invertida colocadas a menor distancia entre sí conforme el conductor atraviesa la marca, las últimas dos marcas evaluadas son ‘Drenthe Province PCM’ que fue formulada en los Países Bajos y la marca ‘Dientes de Dragón’ ya descrita anteriormente.

Se dividió a los conductores en dos grandes grupos que a su vez fueron divididos en otros dos grupos. El primer gran grupo se dividió en conductores que suelen obedecer la ley y conductores que suelen desobedecer la ley. El segundo gran grupo se dividió en conductores que les gusta correr riesgos y en conductores que no tienden a correr riesgos. De las pruebas realizadas se observó que la marca ‘Líneas Transversales Periféricas’ y la marca ‘Dientes de Dragón’ es más efectiva en reducir la velocidad de los conductores que suelen desobedecer la ley y las ‘Líneas Transversales’ fueron las más efectivas en el grupo de conductores que obedecen la ley (Lee et al., 2013).

Continuando con la evaluación de marcar pacificadoras de tránsito, se realizó un estudio en el comienzo de una zona urbana en Venecia, Italia. El segmento donde se realizó la prueba tiene un cambio de velocidad de 70 km/h a 50 km/h. El estudio (realizado con un simulador) tuvo como resultado una reducción de hasta 12.58 km/h cuando se utilizó la marca dientes de dragón (Rossi et al., 2014). De igual manera se evaluó un tramo donde comienza la zona urbana al norte de Irán, a la que se llega con una velocidad de 80 km/h y debe disminuir a 60 km/h. Se utilizaron líneas periféricas transversales, líneas transversales y un diseño rayado para limitar el ancho del camino, con una reducción de 19.32 km/h, 21.90 km/h y 22.16 km/h respectivamente (Akbari & Haghighi, 2019).

Para la evaluación de la marca previo a una curva peligrosa, se tiene un experimento realizado en simulador donde se evaluaron cuatro combinaciones de marcas en el pavimento:

- 1) Dos sets de once líneas transversales de 3.25 metros de ancho, 0.12 metros de grosor y un espaciamiento de 0.50 metros entre líneas colocadas 150 y 75 metros antes de la curva,
- 2) dos bloques de 3.25 metros de ancho y 5 metros de largo pintados de rojo colocados 150 y 75 metros antes de la curva,

- 3) dos sets de líneas similares al punto uno adicionando la marca dientes de dragón enseguida del segundo set de líneas transversales,
- 4) dos sets de líneas similares al punto uno, además de una isla simétrica entre carriles pintada de rojo con líneas diagonales blancas que comience 60 metros antes de la curva y acabe 60 metros después de la curva.

El experimentó encontró que la reducción de velocidad máxima es cuando se colocó la cuarta y la segunda combinación (reducción de 23 km/h aproximadamente), seguidas de la tercera combinación (reducción de 20 km/h) (Montella et al., 2015).

También se evaluaron nueve accesos a poblados de los cuales seis tenían una reducción en el límite de velocidad. En dos de las zonas (Dorrington, Shropshire y Pant, Shropshire) se evaluó por primera vez la marca dientes de dragón (Department for Transport, 2000). En el caso de Dorrington se colocó la marca dientes de dragón antes de una entrada al poblado, acompañada del señalamiento de límite de velocidad de 30 millas por hora, una señal de alerta de cámara de velocidad y una señal con el nombre del pueblo, el eslogan “Please Drive Carefully” con fondo amarillo. En el poblado de Pant, se colocó la marca dientes de dragón y el señalamiento de manera similar al de Dorrington, agregando una señal de límite de velocidad de 40 millas por hora en el límite de Pant y el siguiente pueblo, para diferenciar el límite de velocidad (de 30 a 40 millas por hora). Los resultados del estudio encontraron que cuando la marca dientes de dragón fue colocada en las rutas de acceso a las zonas urbanas hubo una reducción de velocidad media de 3 a 13 millas por hora y de hasta 20 millas por hora en la velocidad de operación (percentil 85). Cuando la marca dientes de dragón fue colocada dentro de las zonas de riesgo urbanas se redujo la velocidad media de entre 2 y 12 millas por hora, y de un máximo de 14 millas por hora en la velocidad de operación (percentil 85).

La marca dientes de dragón fue evaluada en Nueva Zelanda, se colocó la marca seguida por un aviso de ‘30 mph’ marcado en un círculo con fondo rojo abarcando el ancho total de la calzada; el señalamiento horizontal fue una señal de límite de velocidad de 30 millas por hora. Dado que la marca no es tan notoria a la distancia, no da una advertencia al usuario, la velocidad media se redujo 7 mph y la velocidad de operación (percentil 85) de 8 a 9 mph (Charlton & Baas, 2006).

En Nueva Zelanda, se está realizando una investigación que deberá concluir en el año 2022, denominada ‘Dragons Teeth Road Markings Trial’ que tiene como objetivo evaluar la efectividad de la marca dientes de dragón como medida para alertar al usuario acerca de cambios en los límites de velocidad o de uso del camino en el sistema vial. La marca está siendo evaluada en 13 diferentes localidades en los portales de entrada a zonas escolares, áreas comerciales, y en el acceso a cruces peatonales (NZ Transport Agency, 2020).

En México, actualmente se realizó un proyecto de investigación en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo sobre el desempeño de la marca dientes de dragón en zonas urbanas, específicamente en zonas escolares (Méndez Gómez, 2024).

En la Tabla 2-5 se muestra un resumen de los estudios encontrados en la literatura que realizaron una evaluación de marcas disipadoras de tráfico.

Tabla 2-5. Comparativa de estudios previos sobre marcas pacificadoras de tráfico.

Artículo	Señalamientos Probados				Ubicación del Señalamiento				Señalamiento Adicional	Vialidad		Tipo de prueba	
	Rayas Transversales	Rayas Periféricas	Rayas Chevron	Dientes de Dragón	Antes de la zona de estudio	En la zona de estudio	Durante la zona de estudio	Después de la zona de estudio		De alta velocidad (>40 km/hr)	De baja velocidad (<40 km/hr)	Campo	Simulador
Land Transport Rule: Traffic Control Devices 2004 Dragons Teeht Road Markings Trial(Bunting, G., 2019)													
Traffic Calming in Villages on Major Roads (Deparment of Transport, London, 2000)													
The effects of Pavement Markings on High-risk Drivers Speed (Lee, J.H. et al., 2013)													
Traffic Calming Measures: An Evaluation of Four Low-Cost TCMs' effect on Driving Speed and Lateral Distance (Akbari, A. y Farshidreza, H., 2019)													
The Effect of Pavement Markings on Driving Behavior in Curves: A Driving Simulator Study (Ariën, C. et al., 2011)													
An Assessment on the Effectiveness of Traffic Calming Markings and Alternative for Speed Regulating Strips (Yew Wei, J. N. et al., 2013)													

En la Tabla 2-5 podemos observar que señalamientos han sido considerados por otros autores, la ubicación donde se coloca el señalamiento, si van acompañados de señalamiento adicional a la marca sobre el pavimento, para que tipo de vialidades se trata y si las pruebas se realizaron en simulador o directamente sobre una vía existente. Siendo el más relevante para el tema el de Yew Wei (2013) ya que hace una evaluación directa entre las rayas con espaciamiento logarítmico y la marca dientes de dragón, aunque lo realiza en una zona de curva, nos dice que hubo una reducción de hasta 25 km/h con la marca dientes de dragón y de solo 12 km/h con la marca de rayas con espaciamiento logarítmico. Su limitante fue que únicamente tomó en cuenta 200 vehículos, una muestra pequeña por lo que en el presente estudio se busca evaluar la marca durante una semana completa y en zonas de transición de camino rural a camino urbano.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS MARCAS VIALES EXPLORADAS

3.1 Descripción de los sitios de estudio

3.1.1 Selección de los sitios de estudio

Como primer paso deben buscarse los sitios que cumplan las características necesarias para el estudio. La primera característica que deben tener dichos sitios es que sean un acceso a una ciudad o poblado, esto para que pueda considerarse como zona de transición y como segunda característica se busca que en los sitios exista un cambio de velocidad alta a velocidad baja sobre la vialidad para que corresponda colocar señalamiento apropiado que provoque que los usuarios reduzcan su velocidad y así poder justificar el uso de la marca dientes de dragón en la zona.

3.1.2 Sitios seleccionados

Se seleccionaron tres accesos a la ciudad de Uruapan, Michoacán. En los tres casos no existen medidas adecuadas, ni el señalamiento necesario para que los usuarios se den cuenta que están circulando por una zona de transición.

Los sitios fueron elegidos antes del comienzo de la mancha urbana de la ciudad para que la marca pueda cumplir su propósito de diseño y que al ingresar los automovilistas a la zona urbana lleven la velocidad adecuada para el tipo de vialidad que corresponde.

Los sitios seleccionados son:

- El acceso a la ciudad de Uruapan viajando por la carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan” en el kilómetro 8+300.
- El acceso a la ciudad de Uruapan viajando por la carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” libre de cuota en el kilómetro 58+600.
- El acceso a la ciudad de Uruapan viajando por la carretera “Uruapan – El Copetiro”, en el kilómetro 1+100.

En el caso de la carretera “Carapan – Playa Azul” en el tramo “Carapan – Uruapan” la marca se colocará en una pendiente negativa en el sentido de acceso a la ciudad de Uruapan.

La carretera en ese kilómetro cuenta con un carril por sentido con un ancho de 3.5 metros, así como un acotamiento de 2.0 metros de ancho. La zona a evaluar en dicho acceso es una tangente con una velocidad de circulación de 60 km/h, donde los conductores deben reducir su velocidad a 40 km/h.

Para la carreta “Pátzcuaro – Uruapan” se va a localizar en una pendiente negativa, colocándose antes de una zona de incorporación a una estación de servicios y un salón de eventos. El tramo corresponde a una tangente con velocidad de circulación de 70 km/h y se debe disminuir a una velocidad de 40 km/h.

Para la carretera “Uruapan – El Copetiro” la marca se colocará previo a una curva en pendiente negativa, con el fin de ayudar a los usuarios a disminuir su velocidad ya que es una curva cerrada en la que después existe una tangente con una incorporación de vehículos, por lo que es importante aumentar la atención del usuario, así como reducir su velocidad para el ingreso a la zona urbanizada. La carretera tiene una velocidad de circulación de 70 km/h y los usuarios deben ingresar a la zona urbana con una velocidad de 40 km/h.

3.2 Descripción del equipo utilizado

El equipo que se utilizó para realizar los aforos vehiculares es un radar Armadillo® Tracker Traffic Collector, que es un dispositivo de recopilación de datos de tráfico bidireccional. (Houston Radar, 2023). Con este equipo se obtienen los siguientes datos:

- Hora en que circuló el vehículo por la zona de medición con precisión al segundo.
- Velocidad a la que circulaba el vehículo cuando cruzó por la zona de medición.
- La fecha en la que circuló el vehículo por la zona de medición.
- El tipo de vehículo dividido en ligeros y pesados.

3.3 Definición de escenarios

3.3.1 Condición existente.

La carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan” cuenta con un ancho de calzada de 11 metros, un carril de circulación por sentido con un ancho de 3.50 metros, el tramo a evaluar (previo al ingreso a la mancha urbana) tiene una velocidad de proyecto de 60 km/h y una pendiente negativa de 2.3% en el sentido hacía la ciudad de

Uruapan. Actualmente no se cuenta con señalamiento horizontal para reducir la velocidad de los automovilistas en la zona (Figura 3-1. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, km 8+300).

Dicha carretera es la comunicación directa entre el municipio de Uruapan y municipios como Peribán de Ramos y Los Reyes de Salgado, municipios con los cuales existe una comunicación vehicular constante debido a la similitud entre exportaciones de los municipios, de ahí la importancia de controlar las velocidades en dicho acceso ya que existe una alta circulación de vehículos pesados.



Figura 3-1. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, km 8+300



Figura 3-2. Carretera MEX-037 "Carapan - Playa Azul", tramo "Carapan - Uruapan" condición sin marca.

La carretera MEX-014 "Pátzcuaro – Uruapan" tiene un ancho de calzada de 9 metros, cuenta con un carril de circulación por sentido con un ancho de 3.50 metros, además, un ancho de 1 metro de acotamiento en cada sentido. La zona donde se realizará el aforo es previa a una incorporación a la carretera, en el sentido de circulación de Uruapan hacia Pátzcuaro se incorporan los vehículos provenientes de una estación de servicios y en el sentido de Pátzcuaro hacia Uruapan se incorporan los vehículos provenientes de un salón de eventos. Cabe recalcar que en el caso de ambas incorporaciones también pueden incorporarse los vehículos dando vuelta a izquierda, teniendo que cruzar la vialidad al sentido de circulación contrario. No existe un señalamiento vertical que permita realizar el cruce de manera ordenada, por lo que únicamente se realiza con prevención de los usuarios (Figura 3-3).

La carretera Pátzcuaro – Uruapan es una importante vía de comunicación ya que conecta dos municipios importantes del estado de Michoacán, también es una vía muy utilizada para conectar la ciudad de Uruapan con la capital del estado (Morelia), por lo que existe un alto flujo vehicular y debe existir un control de velocidad para los usuarios que ingresan a la mancha urbana para evitar accidentes.



Figura 3-3. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan”, km 58+600



Figura 3-4. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” condición sin marca.

La carretera “Uruapan – El Copetiro” tiene un ancho de calzada de 7 metros, cuenta con un carril de circulación por sentido con un ancho de 3.50 metros cada uno, esta vialidad no cuenta con acotamiento. La zona definida para la evaluación de la marca no cuenta con señalamiento ni vertical ni horizontal existente para indicar al usuario que se encuentra en una zona de transición, se colocará previo a una curva en el kilómetro 1+100 en el sentido

de circulación 2 (El Copetiro hacia Uruapan), esta zona tiene una pendiente negativa de 4.7% por lo que los vehículos que circular a una alta velocidad tienen mayor dificultad para disminuir su velocidad si no se les hace la indicación. Posterior a la curva en el sentido hacia la ciudad de Uruapan se encuentran dos hoteles y en el sentido opuesto un acceso a una empresa privada, de ambos sentidos se incorporan vehículos sin señalamiento existente ni previo aviso a la existencia de dichas incorporaciones (Figura 3-5).

La carretera Uruapan – El Copetiro es la conexión entre los municipios de San Juan Nuevo, Tancítaro y Uruapan, debido a la economía de estos municipios existe un flujo vehicular alto que ingresa a la ciudad de Uruapan en esta zona, además de ser el camino de dichos municipios si se dirigen hacia la capital del estado o a la zona de la costa, por lo que es un acceso de importancia para la ciudad de Uruapan.



Figura 3-5. Carretera “Uruapan – El Copetiro”, km 1+100



Figura 3-6. Carretera “Uruapan – El Copetiro” condición sin marca.

3.3.2 Marca “Dientes de Dragón”.

Para el primer sitio, correspondiente a la carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan” se realizó el pintado de la marca vial “Dientes de Dragón” en el carril en el sentido de circulación 1, correspondiente al sentido en el que crece el cadenamiento, en la zona previa a la ampliación a dos carriles de la carretera ya que es donde comienza la mancha urbana, teniendo más adelante comercios, señalamiento correspondiente a la zona urbana. Las coordenadas del punto aguas abajo de la marca son: 19.4601608, -102.0759953.

La marca vial “Dientes de Dragón” con el señalamiento adicional de “Zona” además de la velocidad de circulación que corresponde al tramo al que ingresan los usuarios tiene una longitud aproximada de 75 metros sobre la carretera. Enseguida se muestra un esquema de la zona donde se realizó en pintado de la marca Dientes de Dragón, adicional se colocan fotografías de la marca ya colocada sobre la carretera (Figura 3-7).

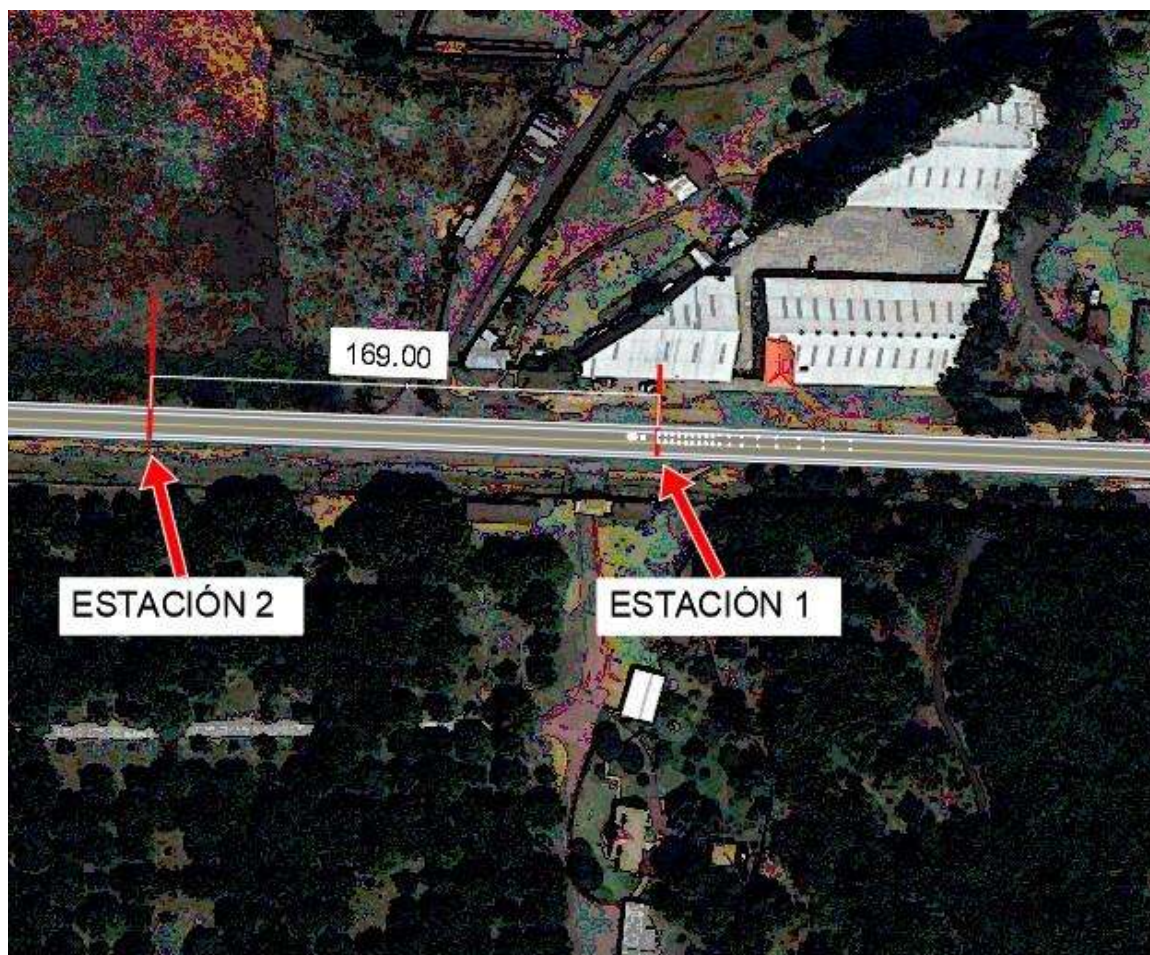


Figura 3-7. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Dientes de Dragón” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.



Figura 3-8. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, con la marca vial “Dientes de Dragón”.

En el caso del segundo sitio, la carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” se realizó el pintado de la marca vial “Dientes de Dragón”, se realizó el pintado en el sentido de circulación 1, el extremo aguas abajo de la marca se colocó previo a la intersección existente a nivel con una estación de servicios y de un salón de eventos, en las coordenadas 19.4390099, -102.0138338. La marca requirió una longitud aproximada de 75 metros de largo de la carretera, se colocó previo a la intersección ya que después de la intersección comienza el crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Uruapan, con el fin de que los automovilistas disminuyan su velocidad tanto por la intersección existente y para que mantengan una velocidad más baja en su ingreso a la ciudad.

A continuación, se muestra un esquema de vista satelital de la marca vial “Dientes de Dragón” colocada sobre la carretera “Pátzcuaro – Uruapan” libre de cuota (Figura 3-9).

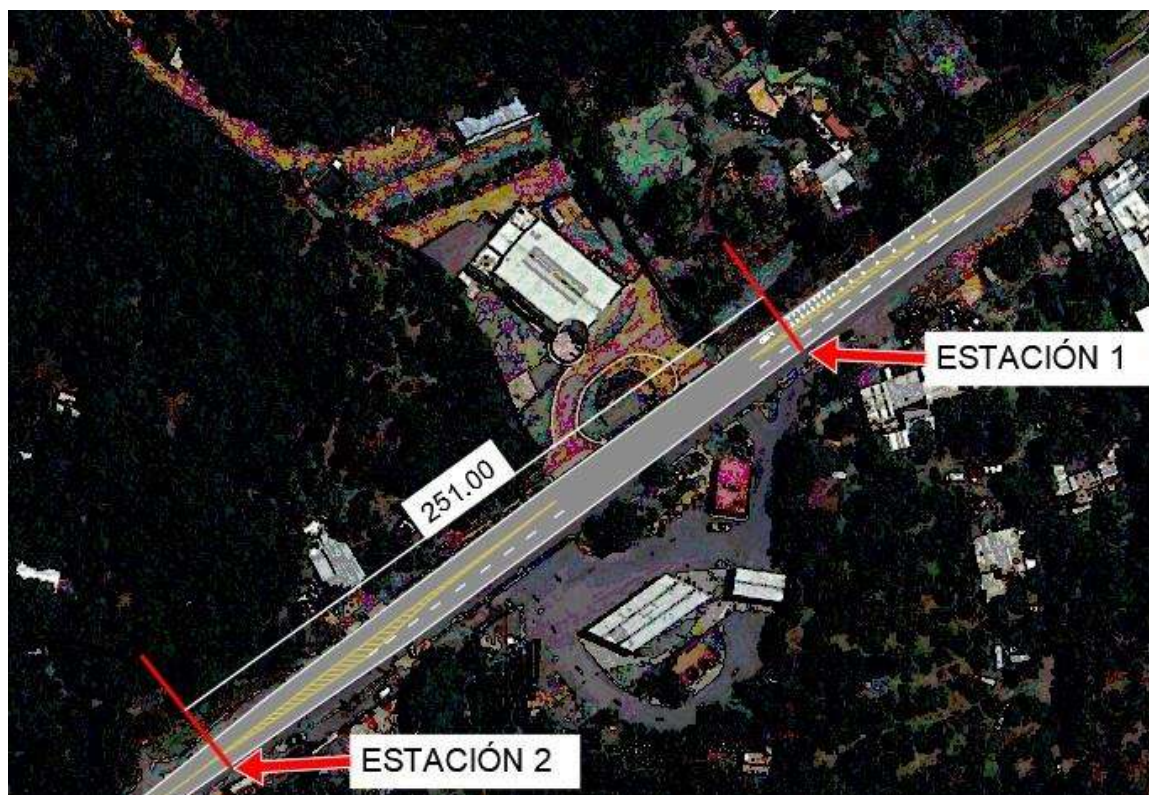


Figura 3-9. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Dientes de Dragón” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.



Figura 3-10. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” con la marca vial “Dientes de Dragón”

Para el caso de la tercera zona, la carretera estatal “Uruapan – El Copetiro” la marca vial “Dientes de Dragón” se colocó en el sentido de circulación 2, hacia donde decrece el cadenamiento. Se pintó previo a una curva que se encuentra en pendiente negativa y antes de llegar a una tangente donde existen dos accesos en el sentido de circulación 2 a lugares de descanso y un acceso en el sentido de circulación 1 a una empresa agricultora. Al existir pendiente negativa en el sentido que se tiene acceso a la ciudad se requiere la atención de los usuarios para disminuir su velocidad de manera individual ya que la pendiente hace que los automóviles ganen velocidad. La marca vial se encuentra colocada en su extremo aguas abajo en las coordenadas 19.383605, -102.0863936.

La marca ocupó una longitud de 75 metros sobre la carretera, la velocidad colocada dentro del ovalo es de 40 km/h, que es la requerida para ingresar a la mancha urbana, la cual se observa en la Figura 3-11:



Figura 3-11. Carretera estatal “Uruapan – El Copetiro”, km 1+100, marca vial “Dientes de Dragón” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.



Figura 3-12. Carretera estatal “Uruapan – El Copetiro” con la marca vial “Dientes de Dragón”

3.3.3 Rayado logarítmico

Similar a la marca pacificadora de tráfico “Dientes de Dragón”, en el primer escenario se realizó el pintado de la marca vial de Rayas con Espaciamiento Logarítmico en el sentido de circulación 1, el extremo aguas debajo de la marca se colocó en el mismo punto que el extremo aguas debajo de la marca “Dientes de Dragón” para que la comparativa se hiciera bajo la misma condición, en el mismo sitio y requirió una longitud total sobre el camino de 134.30 metros, siendo un total de 20 rayas, esto de acuerdo a un diferencial de velocidad de 30 km/h, como se menciona en la Tabla 2-3 del Capítulo 2, ya que es una vialidad con velocidad de diseño de 70 km/h y se requiere una reducción a 40 km/h para entrar a la zona urbana.

El mismo caso ocurre en las otras dos zonas de estudio, se colocó la marca de Rayas con Espaciamiento Logarítmico con su extremo aguas abajo en el mismo punto que el extremo aguas debajo de la marca “Dientes de Dragón”. Consistió de la misma longitud de 134.30 metros, ya que en los tres casos la velocidad de diseño de 70 km/h y se requiere bajar a una velocidad de 40 km/h para ingresar a la zona urbana.

En las Figura 3-13, Figura 3-14, y Figura 3-15 se pueden observar la vista satelital de la marca de Rayas con Espaciamiento Logarítmico en las tres zonas de estudio.



Figura 3-13. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.



Figura 3-14. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan”, km 58+600, marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.



Figura 3-15. Carretera estatal “Uruapan – El Copetiro”, km 1+100, marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” colocada extremo aguas abajo a partir de la estación 1.

En las Figura 3-16 y Figura 3-17 se observa la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”.



Figura 3-16. Carretera MEX-037 “Carapan – Playa Azul”, tramo “Carapan – Uruapan” con la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”.



Figura 3-17. Carretera MEX-014 “Pátzcuaro – Uruapan” con la marca vial “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”

3.4 Levantamiento de datos

3.4.1 Métricas de tránsito

El levantamiento de datos se realizó con un equipo Houston Radar’s Armadillo®. Con este equipo se obtienen los datos brutos sobre cuantos vehículos circularon por la zona, a qué hora pasaron exactamente por el punto de medición, la velocidad a la que circulaban y si el vehículo era motocicleta, ligero o pesado.

A partir de estos datos en bruto podemos obtener diferentes parámetros de velocidad como son:

- Velocidad promedio (percentil 50)
- Velocidad de operación (percentil 85)
- Velocidad en el percentil 98
- Velocidad máxima

También podemos obtener el espaciamiento medio entre vehículos, procesando la hora exacta entre vehículos y determinando la distancia (en segundos), entre el paso de cada vehículo consecutivo.

Los datos brutos se van a integrar en tiempos de 15 minutos, de los cuales se obtienen los datos ya mencionados, además del conteo total de vehículos en cada intervalo de agregación de 15 minutos. Este procesamiento se realizó para cada punto de medición, en cada zona, por lo que corresponden dos aforos para cada zona de los tres escenarios propuestos (sin marca, con marca Dientes de Dragón y con Rayas con Espaciamiento Logarítmico).

3.4.2 Encuesta a usuarios

Después de realizar el pintado de la marca vial “Dientes de Dragón” se propuso una encuesta con la participación del departamento de Obras Públicas de la ciudad de Uruapan, donde se definieron una serie de preguntas para realizar a los usuarios después de un tiempo de aproximadamente tres meses de la puesta en servicio de la nueva marca vial “Dientes de Dragón” para conocer el entendimiento y reacción de los automovilistas. Se realizaron tres preguntas únicamente, ya que la encuesta se realizó con el apoyo del personal de Tránsito del municipio de Uruapan, por lo que debía ser una encuesta rápida y con respuestas cortas para no afectar el flujo de la zona donde se realizó la encuesta.

Las tres preguntas que se realizaron a los usuarios fueron:

- 1) ¿Observó usted la nueva señal vial sobre el pavimento?
 - a) Si
 - b) No
- 2) ¿Cuál fue su reacción ante la presencia de esta nueva señal vial?
 - a) Disminuir mi velocidad
 - b) Detenerme
 - c) Cambiar mi carril
 - d) Aumentar mi atención
 - e) Ninguna
- 3) ¿En qué medida considera usted que la nueva señal puede ayudar a reducir la velocidad?

- a) Mucho
- b) Bastante
- c) Poco
- d) Nada

3.5 Procesamiento de datos

3.5.1 Filtrado de datos

De las mediciones realizadas en campo con el instrumento Armadillo Tracker, se obtuvieron datos brutos sobre la fecha en que pasó cada vehículo, su velocidad, así como la clase de vehículo (moto, ligero o pesado). Después de obtener estos datos se realizó un filtrado de datos con la finalidad de crear una base de datos con un nivel de agregación de quince minutos. Adicional a la creación del nivel de agregación se realizaron distinciones a partir de los datos brutos como fueron:

- Si el vehículo circuló en un día entre semana (lunes a viernes) o en fin de semana (sábado o domingo).
- La hora del día en que se registró circulando el vehículo, dividiendo en cuatro grupos el día:
 - De 06:00 a 12:00 horas.
 - De 12:00 a 18:00 horas.
 - De 18:00 a 00:00 horas
 - De 00:00 a 06:00 horas.
- La condición de luz en la que circuló el usuario:
 - Condición de mucha luz de 07:00 a las 19:00 horas.
 - Condición de poca luz de 19:00 a las 07:00 horas.
- Si el vehículo respetó la velocidad establecida para el tramo donde se realizó el aforo (de 70 km/h en los 3 escenarios).
- El espaciamiento (headway) entre vehículos consecutivos en segundos.
- Del dato obtenido del espaciamiento entre vehículos consecutivos se determinará si el usuario circula en condición de flujo libre o en condición de seguimiento. La condición en flujo libre ocurre cuando la distancia entre el vehículo delante es

mayor a 8 segundos y el vehículo detrás mayor a 5 segundos, de no cumplirse estas dos condiciones se considera que el vehículo va en condición de seguimiento (Referencia).

- Se calcularán la tasa de flujo (ecuación 3.1).
- Además, se calculará la densidad (ecuación 3.2).

$$q = \frac{N}{T} \quad (3.1)$$

$$k = \frac{q}{\sum_{i=1}^N s_i / N} \quad (3.2)$$

Donde:

q : tasa de flujo en veh/h,
 k : densidad en veh-km,
 N : número de vehículos durante un intervalo T ,
 T : duración del intervalo de tiempo en horas, y
 s_i : velocidad del vehículo i .



Figura 3-18. Encuesta en sitio realizada a usuarios.

3.5.2 Niveles de agregación de datos

Los datos brutos obtenidos del aforador Armadillo Tracker se procesaron y se agregaron en intervalos de 15 minutos. Dentro de este nivel de agregación se obtuvo la velocidad promedio de cada intervalo de 15 minutos, se obtuvieron también las velocidades del percentil 85, el percentil 98 y la velocidad máxima registrada dentro de cada intervalo.

Adicional a los datos de las velocidades, al realizar el procesamiento de datos también se obtuvo cuantos vehículos circularon en cada nivel de agregación de 15 minutos y el

tiempo promedio de separación (headway) entre vehículos dentro del lapso de los 15 minutos.

El procesamiento de los datos brutos obtenidos del equipo Armadillo Tracker se bajan a través de un software llamado “Houston Radar Stats Analyzer” para posteriormente procesar la información. Para realizar la agregación de los datos a cada 15 minutos, obteniendo toda la información previamente mencionada se realizó a través de un código en Python, arrojando los resultados en un archivo de formato “xlsx” para su posterior análisis.

3.5.3 *Combinaciones a explorar*

Posterior al análisis de los resultados se realizará un análisis de combinaciones de resultados de los filtrados en la sección 3.5.1. Las combinaciones que deben analizarse son:

- Si hay alguna influencia en la velocidad comparando las reducciones de vehículos ligeros contra los vehículos pesados.
- Si las personas que circulan en fin de semana tienen una respuesta distinta a la marca en comparación con las personas que circulan en día laboral.
- La influencia de la hora del día, como afecta a la respuesta de los conductores a cada escenario.
- El efecto que causa la condición de luz que existe sobre la vía comparada con la velocidad de circulación de los automovilistas
- La comparativa de la velocidad de los vehículos que circulan en condición de flujo libre y los que circulan en condición de seguimiento, denotando su respuesta a cada marca en cada uno de los casos.
- Con las encuestas realizadas, también se explorará la respuesta de cada segmento de los automovilistas divididos en tres rangos de edad (joven, adulto y adulto mayor) sobre la reacción que tuvieron al ver la marca vial “Dientes de Dragón” y cuál fue la percepción que tuvieron de la misma.

3.6 Análisis estadístico

3.6.1 Estadística descriptiva

Dentro del análisis estadístico que se propuso para la investigación se va a obtener primeramente del procesamiento de datos brutos:

- La media aritmética o percentil 50 del valor de la velocidad medida de todos los vehículos en cada estación de cada escenario propuesto.
- El percentil 85 del valor de la velocidad medida.
- El percentil 98 del valor de la velocidad medida.
- La velocidad máxima registrada en cada estación con cada uno de los 3 escenarios propuestos en cada zona.
- Con el registro del horario se va a calcular la separación entre vehículos como dato estadístico para definir el espaciamiento entre vehículos.

3.6.2 Estadística inferencial

Del análisis inferencial de los datos, se va a realizar una comparativa en el comportamiento de los vehículos dependiendo del carácter particular analizado, las situaciones que serán revisadas son las mencionadas enseguida:

- Con la fecha se va a definir la característica de si el vehículo circula entre semana o fin de semana.
- También con el horario se va a definir si el vehículo circulaba en una condición de poca luz o de mucha luz.
- Adicional, se dividirá el horario en que circuló el usuario como ya se mencionó en la sección 3.5.1.

Estos análisis de datos se realizarán con la finalidad de poder observar cómo afecta a la velocidad de circulación los distintos escenarios en los que el usuario utiliza la carretera. Determinar si hay alguna influencia para modificar el modo de conducción y hacer mención de las características con mayor influencia.

Además, se realizará un análisis para las diferentes pruebas de velocidad a través de pruebas t pareada. Dentro de la prueba t pareada se van a analizar las tres zonas del estudio y cada zona de compararán ambas estaciones de cada escenario. Para cada

escenario se hará la comparativa el promedio de la velocidad media, el percentil 85 de la velocidad, el percentil 98 de la velocidad, además de comparar la velocidad máxima registrada en cada estación.

También en el contraste de resultados se analizará la desviación estándar, la diferencia entre las velocidades de cada escenario, el número de datos observados (que para esta comparativa se realizará con los valores agregados en intervalos de 15 minutos), el valor t (que se calcula dividiendo la diferencia medida por la dispersión en los datos de la muestra (DATAtab Team, 2024)) y por último el valor p , que es valor de significancia, el cual para nuestro caso en particular tomaremos que si es menor al 5%, aceptamos la hipótesis propuesta (que el valor de velocidad con la marca pacificadora de tráfico “Dientes de Dragón” es menor que con la condición sin marca y que con la condición con Rayas con Espaciamiento Logarítmico).

Adicional a la prueba t pareada, se trabajará la técnica de Random Forest y la regresión Lasso, con los cuales podremos obtener cuales son las condiciones definidas en la sección 3.5.1 que tienen mayor influencia en la velocidad (percentil 85) a la que se conducen los usuarios por las zonas propuestas, para determinar bajo qué condiciones se puede aprovechar de mejor manera la marca pacificadora de tráfico “Dientes de Dragón”, además de que ayudarán de mejor manera obtener conclusiones sobre su desempeño.

CAPÍTULO 4.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS MARCAS VIALES EXPLORADAS.

4.1 Caracterización del tránsito

Las métricas de velocidad que se exploraron para evaluar el desempeño de las marcas exploradas son:

- Velocidad promedio (percentil 50)
- Velocidad de operación (percentil 85)
- Velocidad en el percentil 98
- Velocidad máxima

Adicional a las velocidades, también se definió el espaciamiento (headway) entre vehículos y la tasa de flujo. Estos valores se analizaron en los datos procesados en un nivel de agregación de 15 minutos, por lo que los resultados obtenidos representan el valor promedio de cada métrica dentro de un intervalo de 15 minutos consecutivos.

A manera de resumen, se presentan los resultados de manera gráfica de cada métrica de tránsito, dividiendo los resultados primeramente por zona, después por escenarios y posteriormente por estación analizada.

Recordar que la Zona 1 corresponde a la Carretera Carapan – Playa Azul, tramo Carapan – Uruapan, la Zona 2 a la carretera Pátzcuaro – Uruapan libre de cuota y la Zona 3 a la carretera Uruapan – El Copetiro, todas se estudiaron en el sentido de ingreso a la ciudad de Uruapan con dos estaciones, una aguas debajo de la marca (donde finaliza) y otra una distancia correspondiente a la requerida para un carril de desaceleración para un diferencial de velocidad de 30 km/h, en tres escenarios distintos, primeramente en una condición sin ninguna marca pintada sobre el pavimento, posteriormente con la marca pacificadora de tráfico “Dientes de Dragón” y finalmente con la marca tradicional de Rayas con Espaciamiento Logarítmico.

4.1.1 Velocidad

Primeramente, observaremos las gráficas comparativas de las velocidades sobre cada escenario en ambas estaciones.

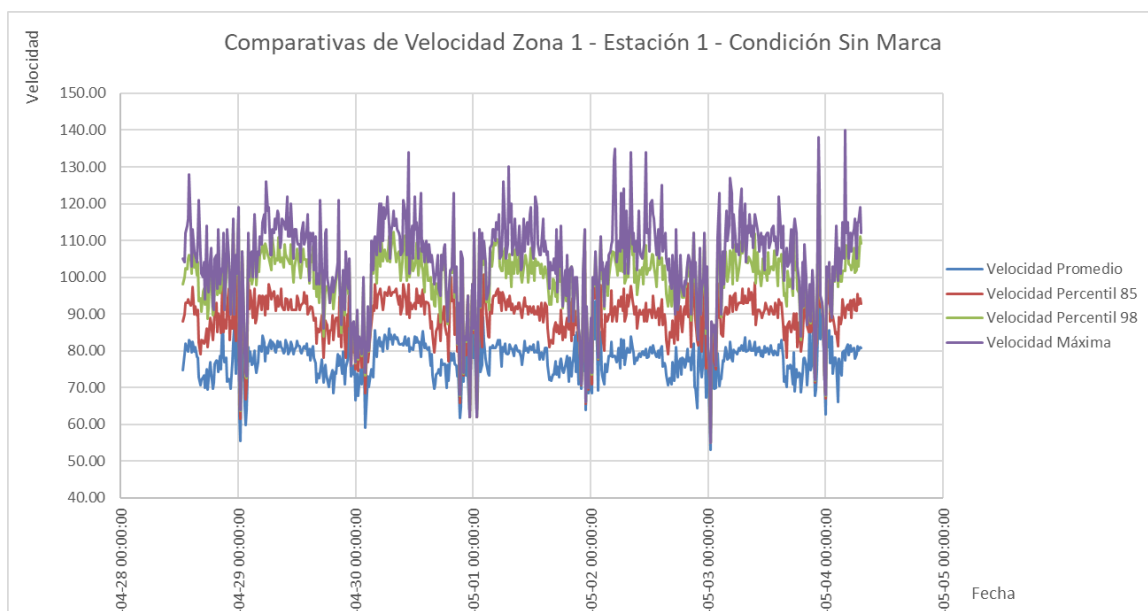


Figura 4-1. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

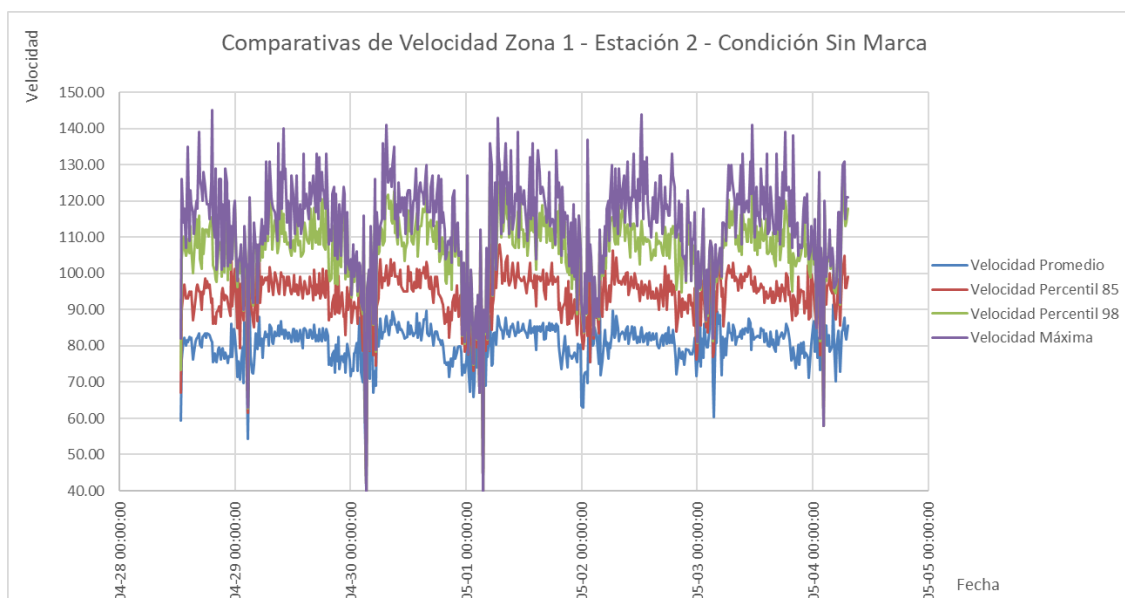


Figura 4-2. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

Para la zona 1, podemos observar que el comportamiento de los usuarios en el estado original de la vía se midieron velocidades máximas de más de 140 km/h en la estación 2 (,

se aprecia que la velocidad de operación en la estación 1 es cercana a los 90 km/h y en la estación 2 aumenta acercándose a los 100 km/h, esto puede ser debido a la pendiente negativa que existe en el trayecto estudiado. Tomar en cuenta que la velocidad máxima normada tanto de la zona 1, como de la zona 2 y zona 3 es de 70 km/h (Figura 4-1 y Figura 4-2).

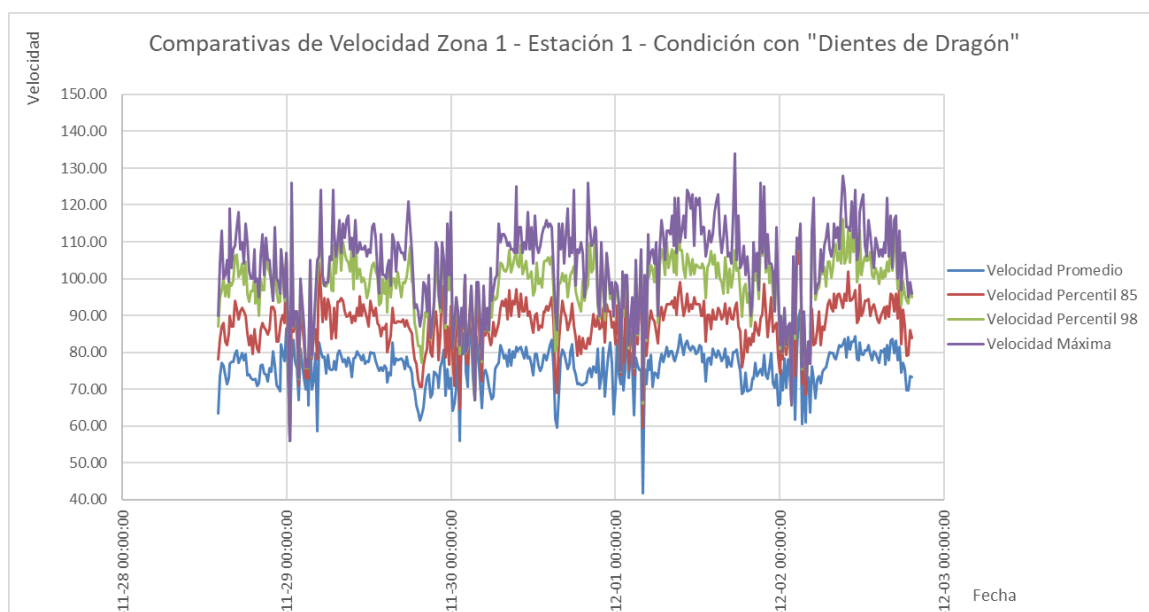


Figura 4-3. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

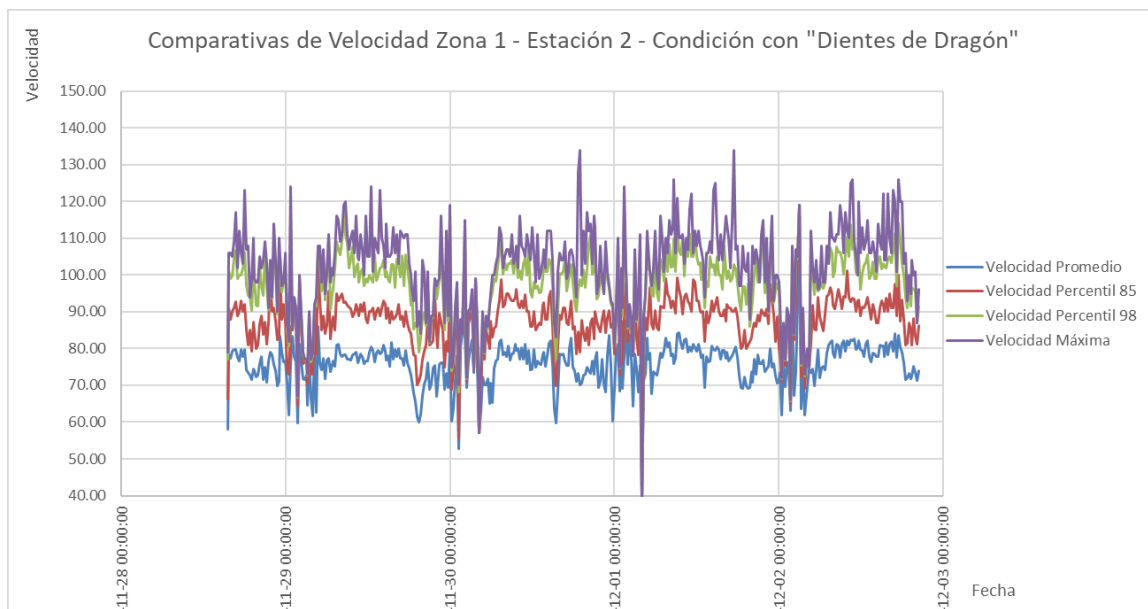


Figura 4-4. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

En la misma zona 1, ya con la marca vial “Dientes de Dragón” pintada sobre la vía se vio una disminución donde las velocidades máximas rebasan apenas los 130 km/h y la velocidad de operación en su mayoría se encuentra por debajo de los 90 km/h para ambas estaciones, lo que sugiere que la marca vial “Dientes de Dragón” indujo a una reducción de velocidad en los usuarios (Figura 4-3 y Figura 4-4).

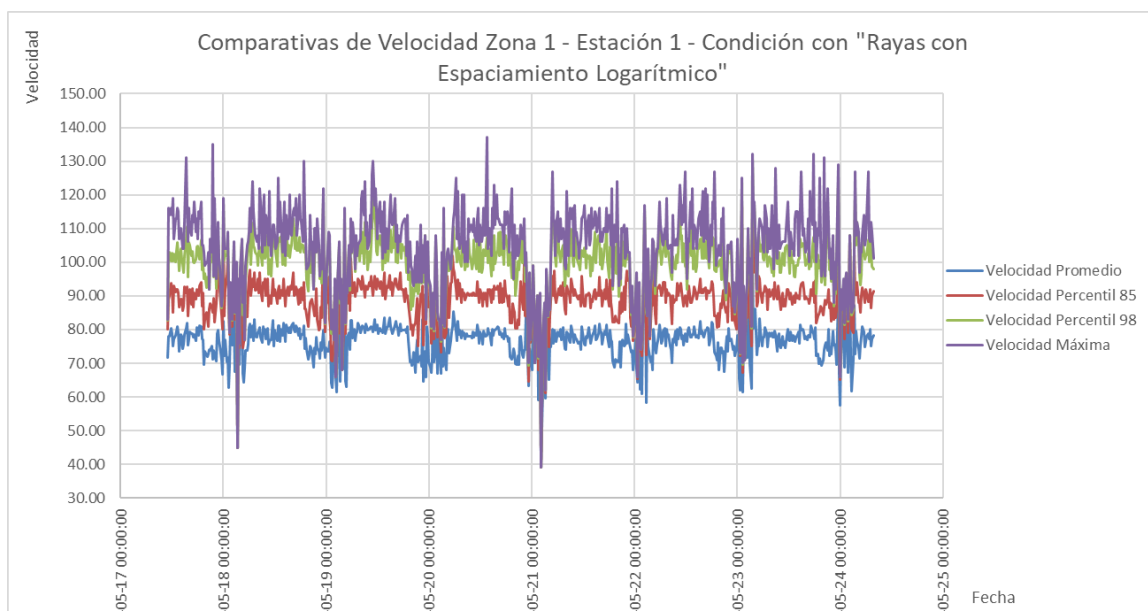


Figura 4-5. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

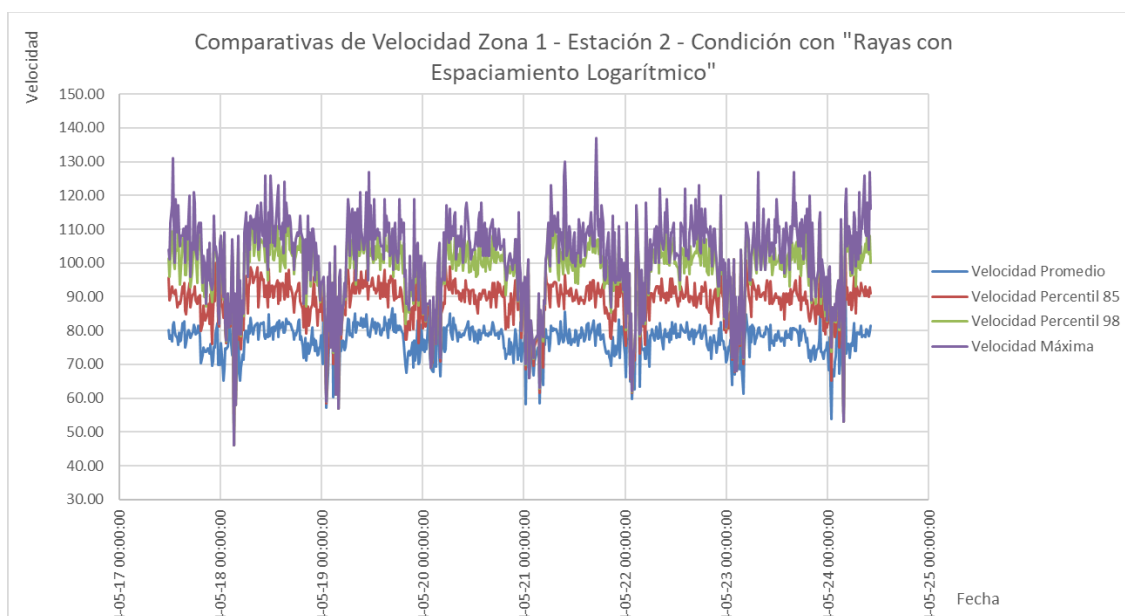


Figura 4-6. Comparativa de velocidades Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

En la Figura 4-5 y Figura 4-6 podemos observar que la marca tradicional de Rayas con Espaciamiento Logarítmico, existe una disminución en la velocidad comparado con la condición original de la vía (sin marca), que si bien son pocos los conductores que llegan a las velocidades máximas de 140 hay más de los que lo hacen con la marca vial “Dientes de Dragón”, de igual manera se aprecia que la velocidad de operación se encuentra muy cercana a los 90 km/h, pero un poco por encima por lo que también existe una reducción con respecto al estado original, pero es una reducción menor que con el escenario con “Dientes de Dragón”.

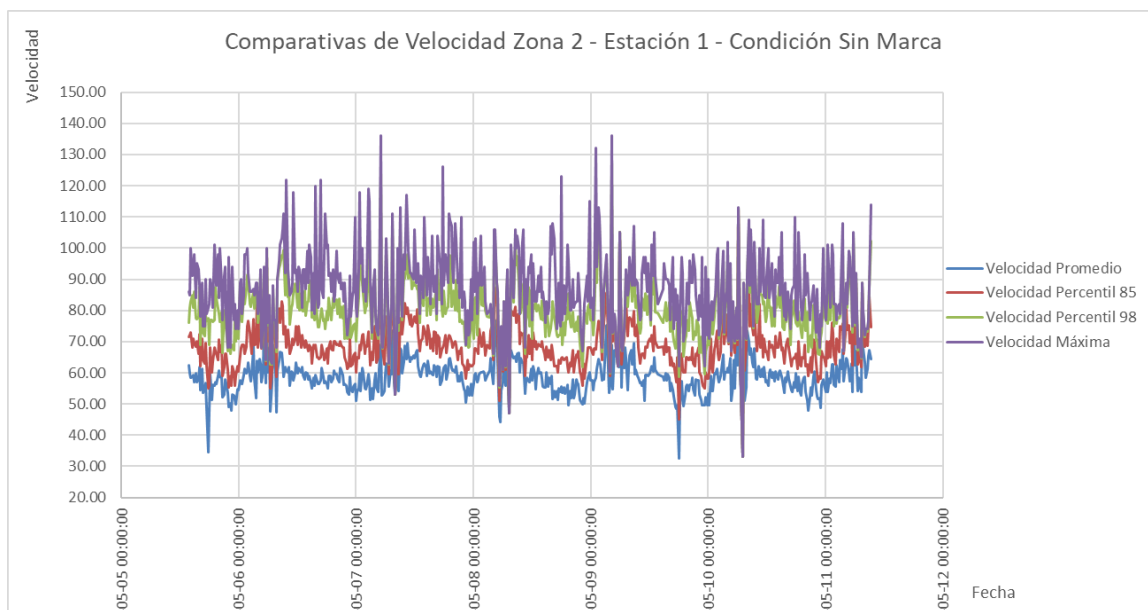


Figura 4-7. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

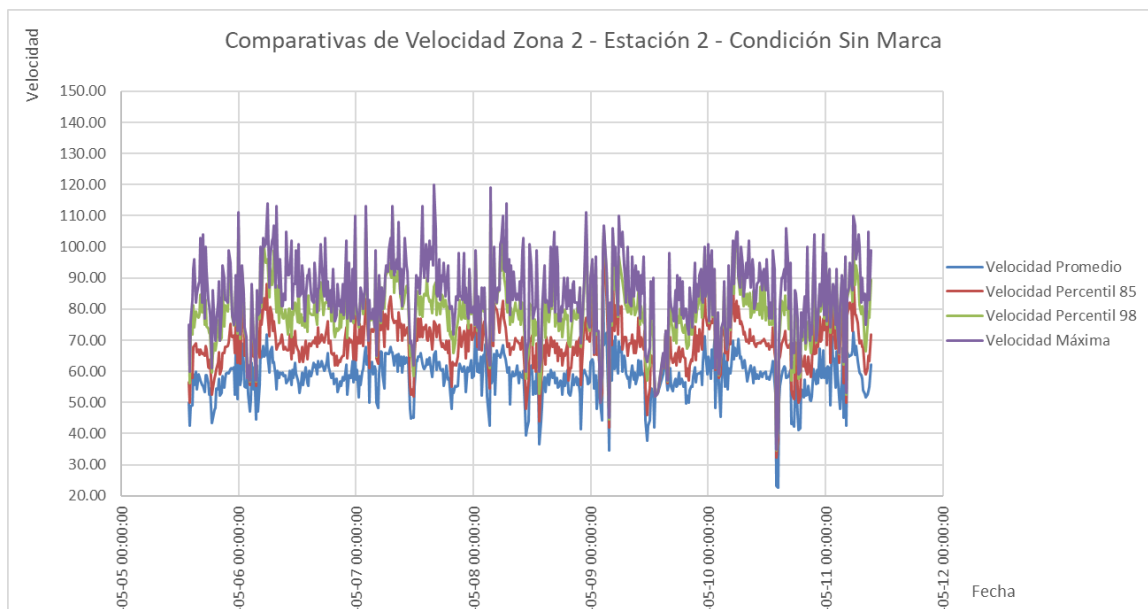


Figura 4-8. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

En las Figura 4-7 y Figura 4-8, podemos apreciar que las velocidades máximas registradas en la zona 2 de estudio, en la condición original de la vía superan los 120 km/h en la estación 1 pero en la estación 2 están entre 110 y 120 km/h, esto indica que existe una condición en la vía que hace que los usuarios disminuyan su velocidad; conociendo el sitio, existe un acceso a una estación de servicios entre la estación 1 y 2, de ahí la necesidad de disminuir la velocidad de los usuarios en ese punto. La velocidad de operación ronda muy cercano a los 70 km/h, por lo que esta vía la mayoría (85%) de los usuarios si respetan la velocidad posteada. La necesidad de que disminuyan es por la proximidad a la zona urbana donde existe un cambio a una velocidad de 40 km/h.

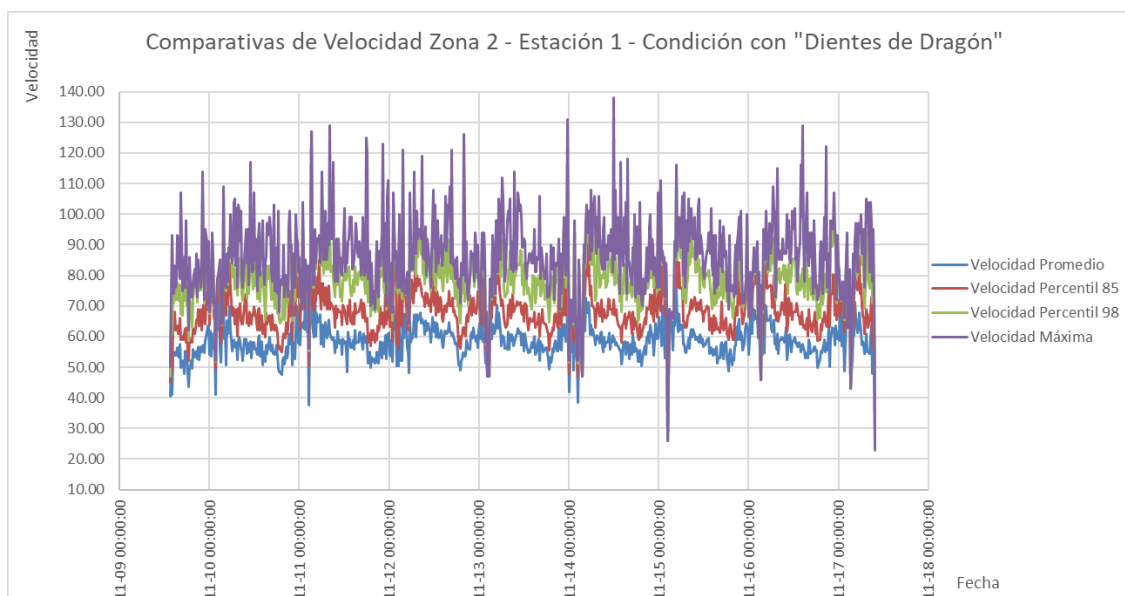


Figura 4-9. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

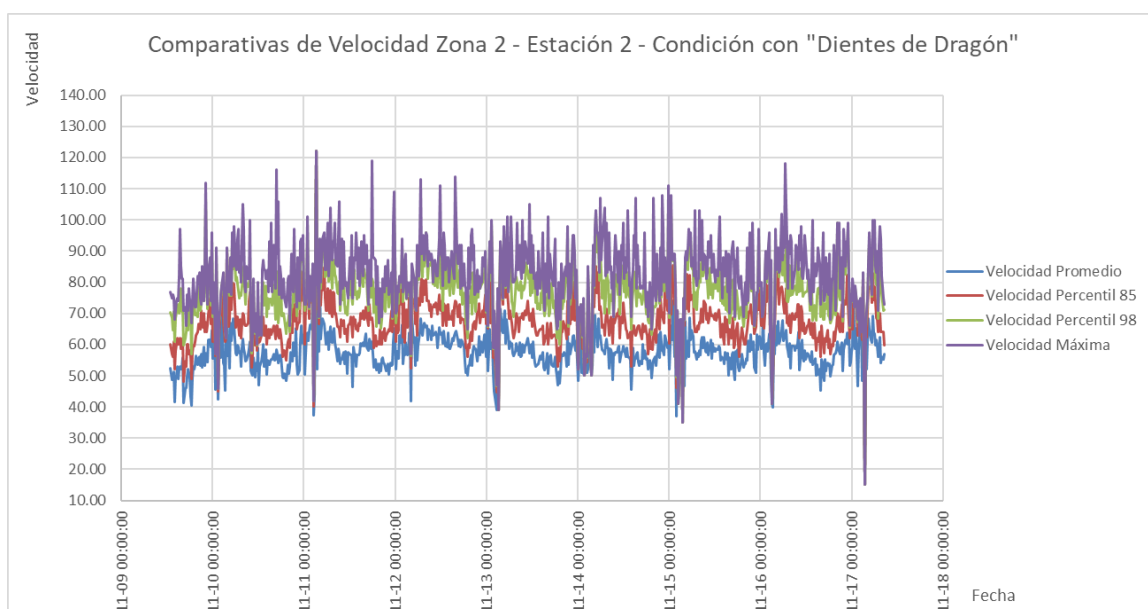


Figura 4-10. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

Para la zona 2, con la condición con marca “Dientes de Dragón” observamos que las velocidades máximas en la estación 1 estuvieron entre 120 y 130 km/h, lo que hace ver que

los usuarios que circulan por esa vía a velocidades altas no tienen afectación por la marca, pero para la estación 2 si disminuyen las velocidades máximas a valores entre 110 y 120 km/h, lo que sugiere que el indicador de velocidad que acompaña a la marca puede tener alguna influencia, esto siendo únicamente una suposición. Comparando las velocidades de operación se observa que se encuentran entre 60 y 70 km/h, lo que indica una ligera disminución en la velocidad de la mayoría de los usuarios (Figura 4-9 y Figura 4-10).

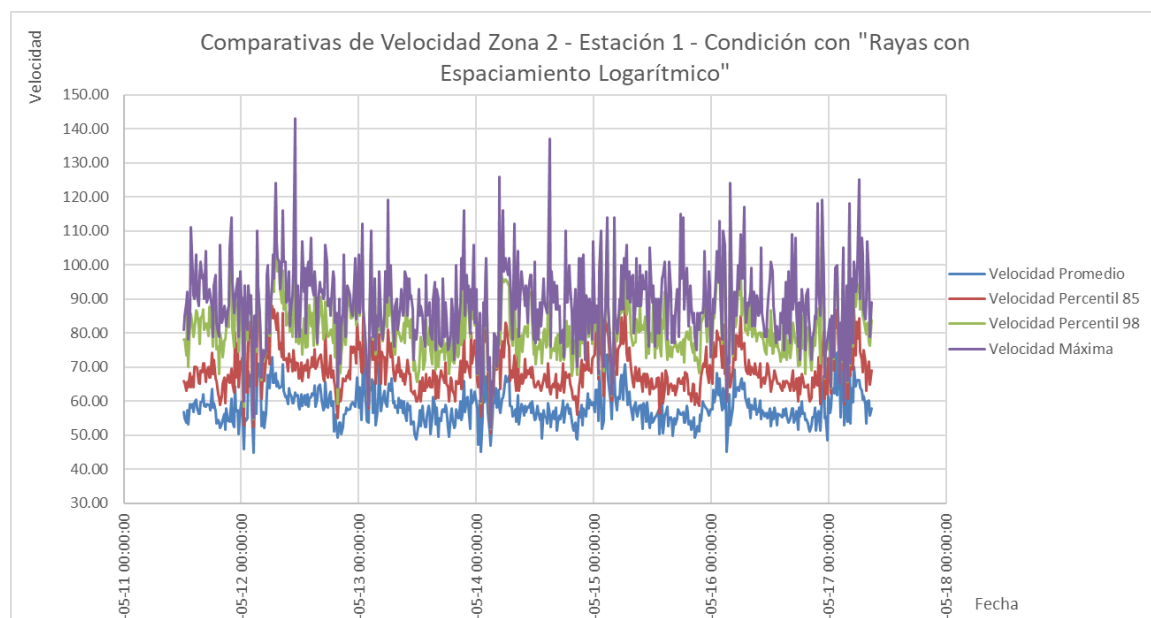


Figura 4-11. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

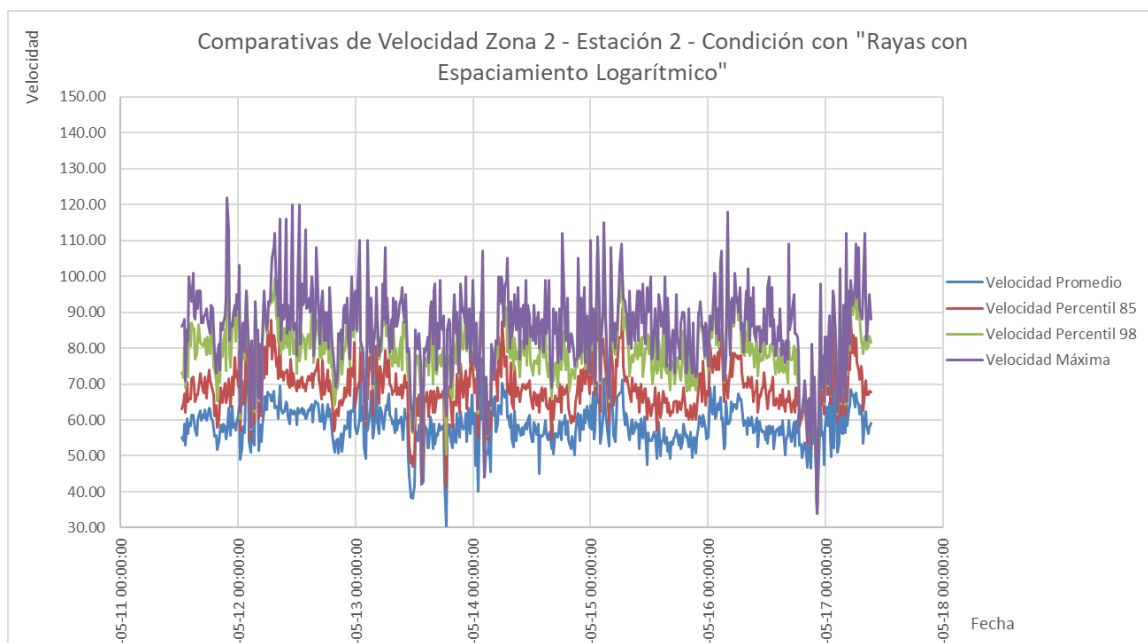


Figura 4-12. Comparativa de velocidades Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

En la zona 2 con la marca de Rayas con Espaciamiento Logarítmico las velocidades máximas fueron consistentes siendo mayores a 120 km/h en la estación 1 y entre 110 y 120 km/h en la estación 2. En la velocidad de operación se observaron velocidades cercanas a los 70 km/h, lo que indica una mejora con respecto a la condición original de la vía, pero con menor reducción a la marca “Dientes de Dragón” (Figura 4-11 y Figura 4-12).

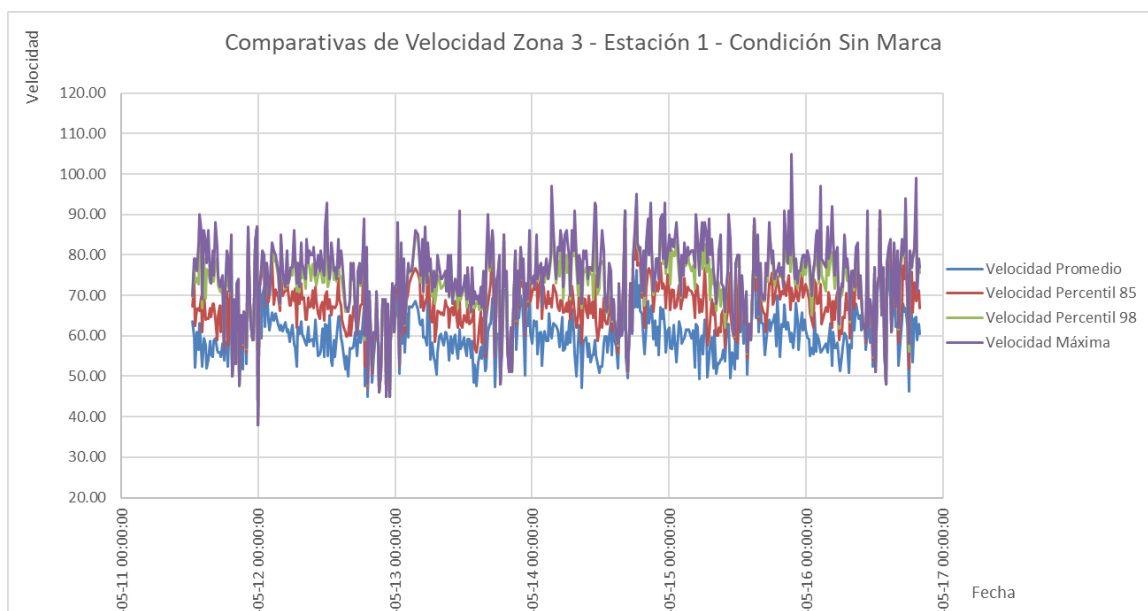


Figura 4-13. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

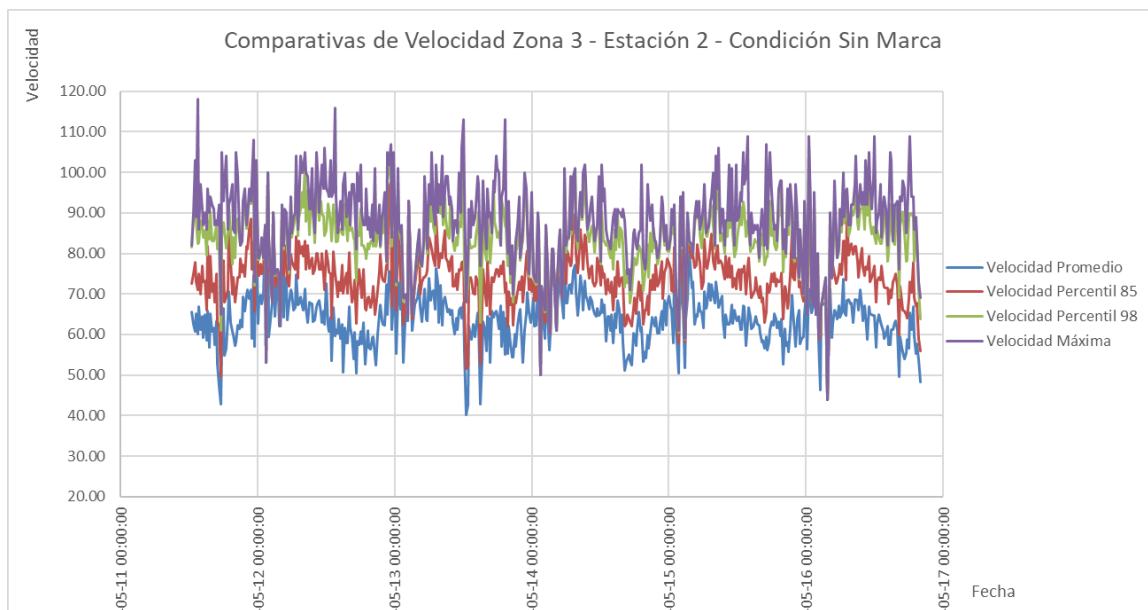


Figura 4-14. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

Las velocidades máximas observadas (Figura 4-13 y Figura 4-14) en la zona 3 son cercanas a los 100 km/h en la estación 1 y de 110 km/h en la estación 2, esto puede deberse que la

estación 1 se midió previo a una curva horizontal y la estación 2 en la zona de tangente posterior a la curva, adicionalmente se encuentra en pendiente descendente por lo que los vehículos aumentan su velocidad al no observar obstáculos geométricos en la vía. Con la velocidad de operación ocurre un efecto similar, teniendo en la estación 1 velocidades un poco por debajo de los 70 km/h y en la estación 2 están por arriba de los 70 km/h.

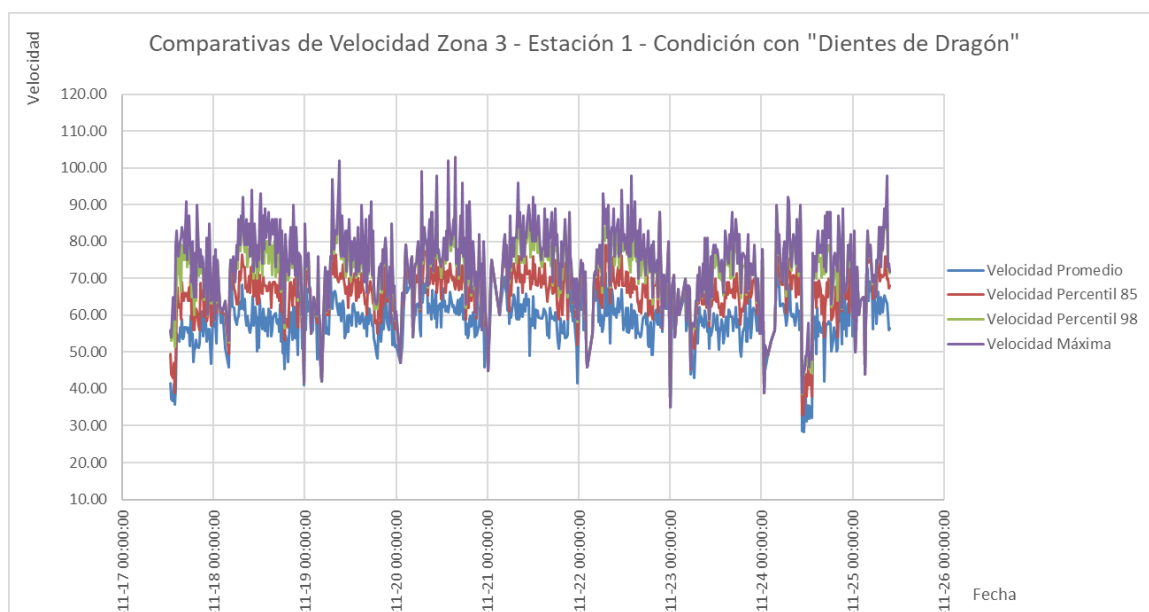


Figura 4-15. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

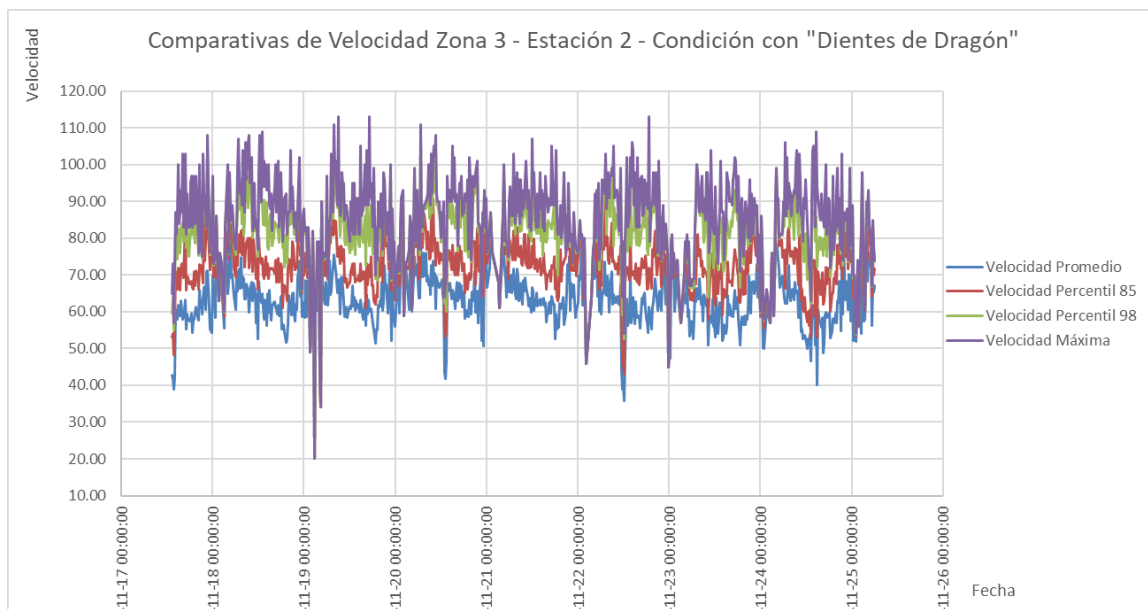


Figura 4-16. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

Con la condición con la marca “Dientes de Dragón” en la zona 3 las velocidades máximas registradas se observan por debajo de los 100 km/h en la estación 1 y por debajo de los 110 km/h en la estación 2, si bien existe una disminución en comparación con la condición original de la vía, todavía se percibe necesario fortalecer la zona para que exista una disminución aún mayor. La velocidad de operación ronda los 70 km/h en la estación 2 y en el caso de la estación 1 las velocidades se aprecian entre 60 y 70 km/h (Figura 4-15 y Figura 4-16).

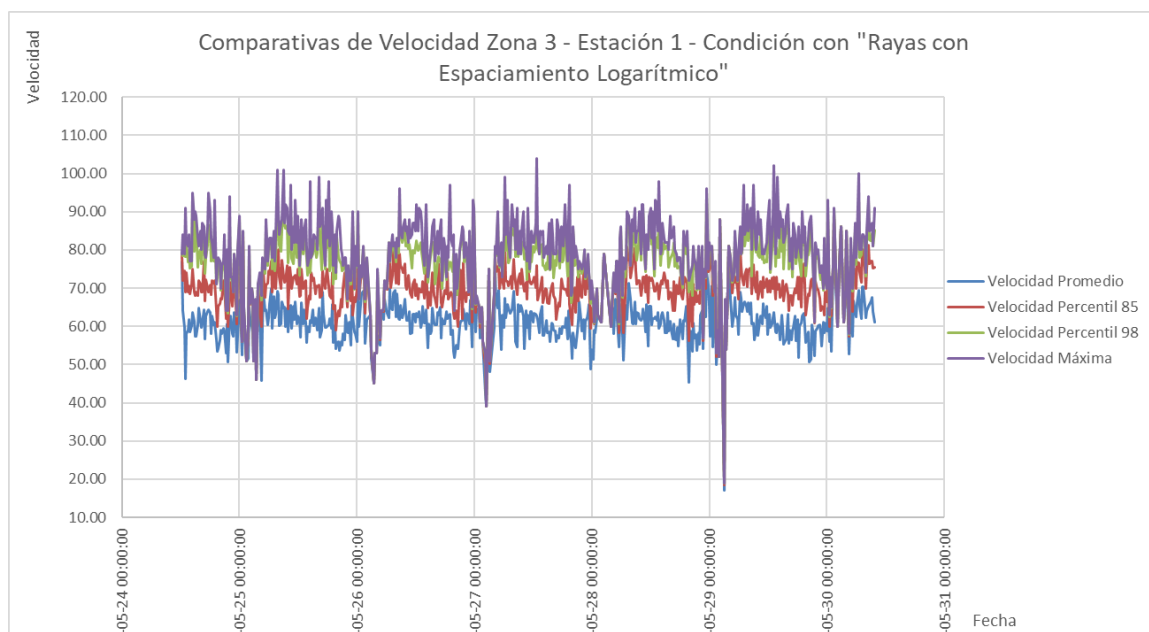


Figura 4-17. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

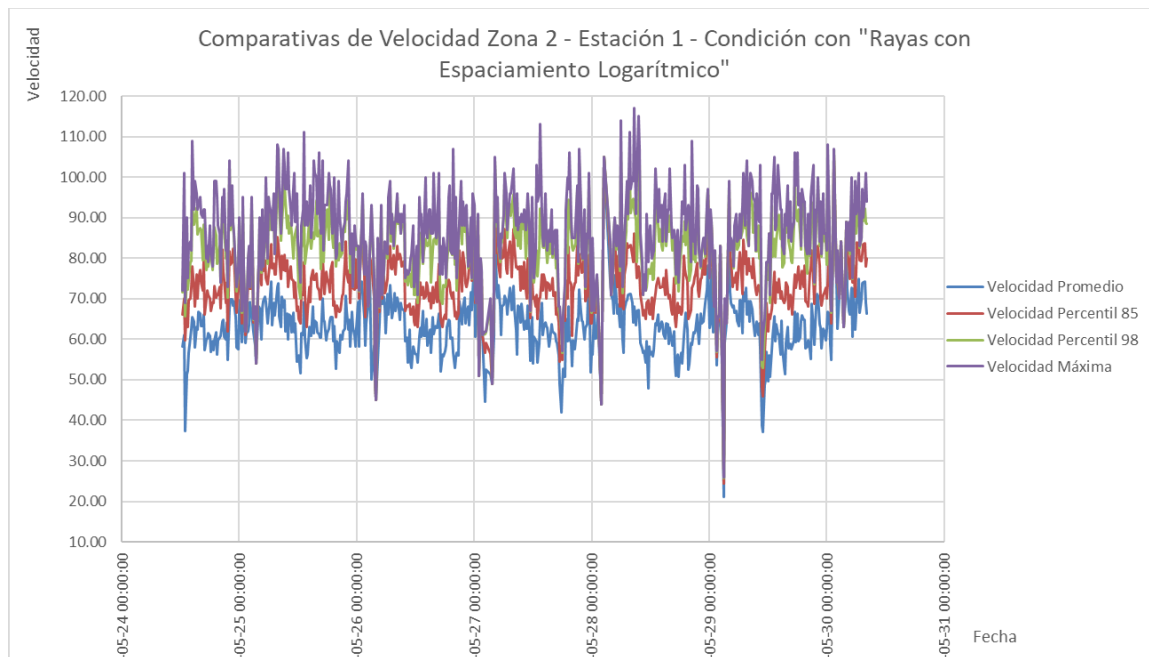


Figura 4-18. Comparativa de velocidades Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

La condición de Rayas con Espaciamiento Logarítmico provocó velocidades máximas de circulación entre 90 y 100 km/h en la estación 1, para los 3 escenarios es probable que la velocidad se deba a la condición de la curva horizontal existente en la zona de estudio, para la estación 2 se observación velocidades máximas por encima de los 110 km/h, lo cual representa velocidades relativamente mayores a la velocidad máxima registrada con la condición original, por lo que puede existir alguna causa con los usuarios que no tuvieron la respuesta supuesta con la marca de Rayas con Espaciamiento Logarítmico.

4.1.2 Espaciamiento medio entre vehículos

Para el espaciamiento medio entre vehículos, de igual manera se realizó con el promedio de cada intervalo de agregación de 15 minutos, esto servirá más adelante para determinar qué tanta influencia tiene el valor del espaciamiento medio sobre la velocidad a la que circulan los usuarios.

Los resultados de igual manera se presentan por las zonas definidas y dentro de las zonas se muestran por cada uno de los tres escenarios en ambas estaciones. Los resultados se muestran en un histograma, agrupando valores de 4 segundos de espaciamiento medio entre vehículos, y agrupando en un solo valor los que circularon con un espaciamiento medio mayor a 32 segundos.

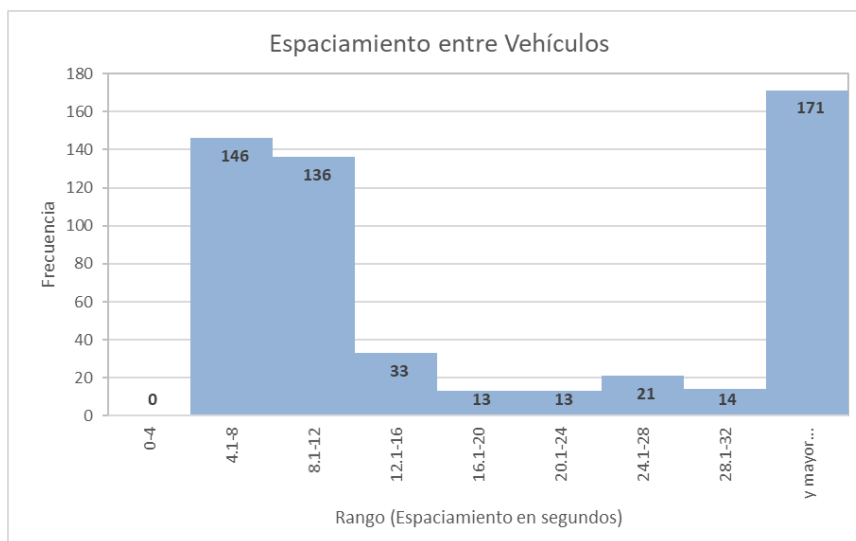


Figura 4-19. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

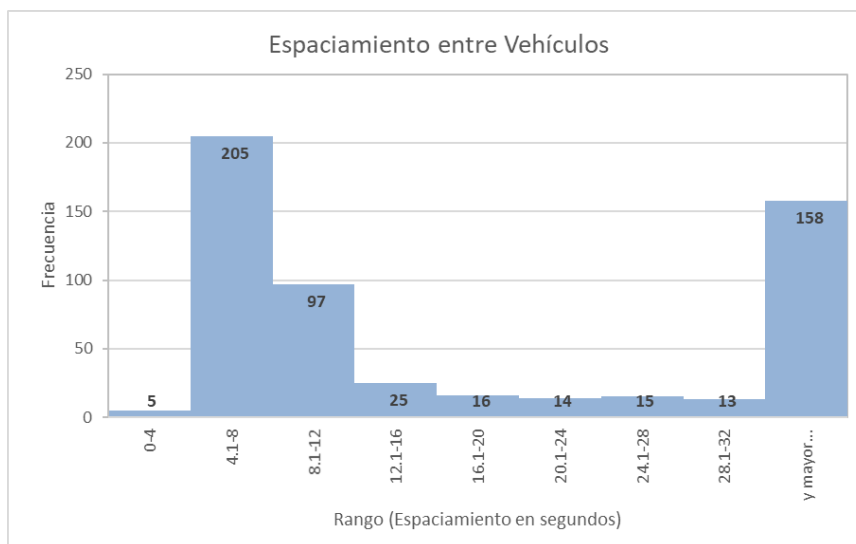


Figura 4-20. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

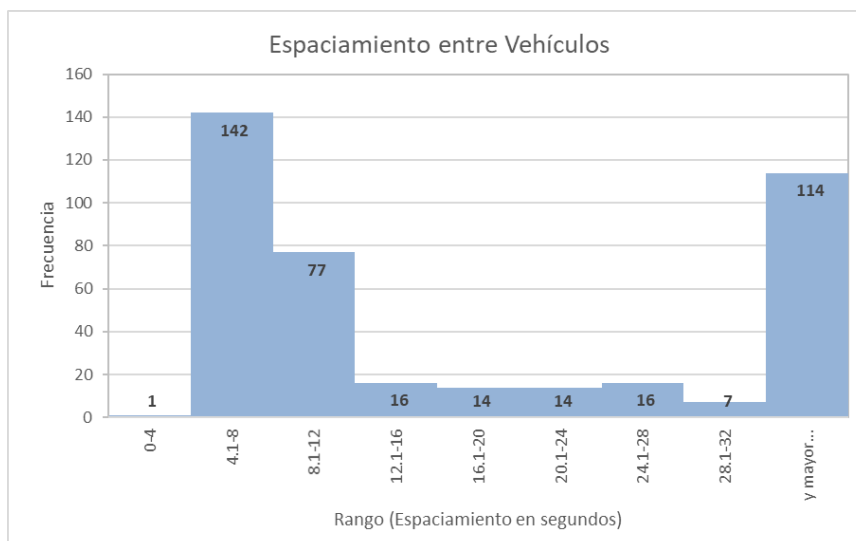


Figura 4-21. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

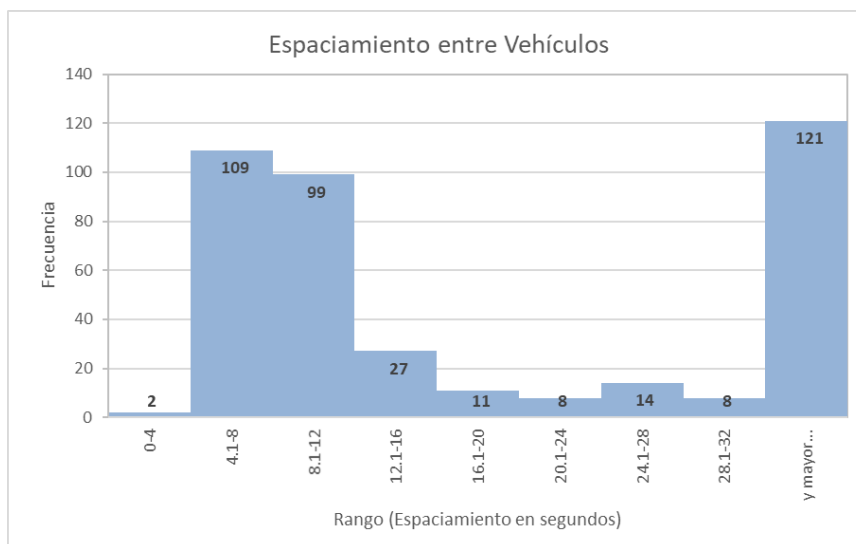


Figura 4-22. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

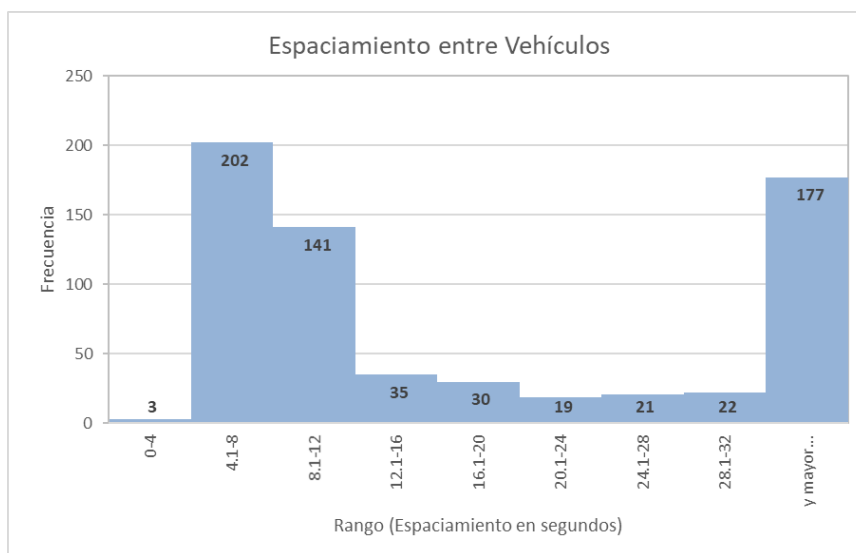


Figura 4-23. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

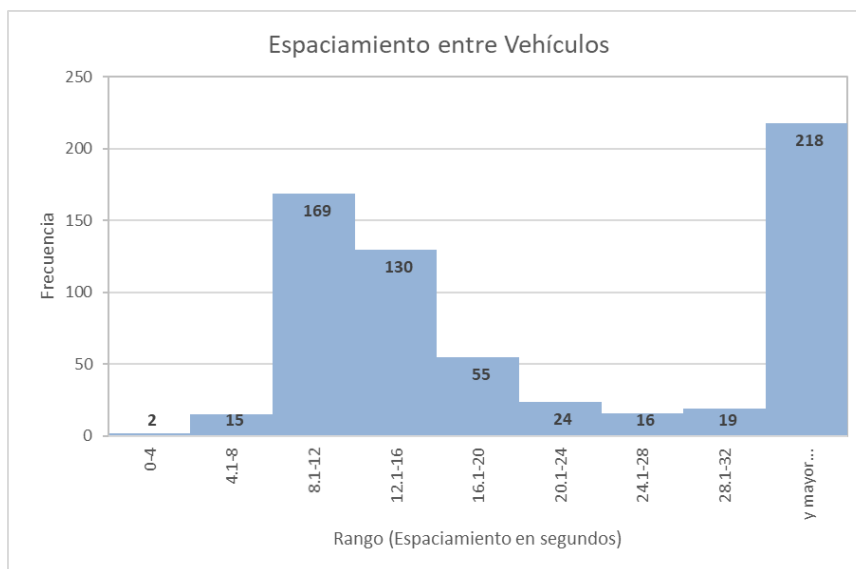


Figura 4-24. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

El espaciamiento observado en la zona 1 se concentra mayormente entre los 4 y 12 segundos, y después mayor a 32 segundos, lo que nos indica que la mayoría de los vehículos circulan en condición de seguimiento y la otra parte de los usuarios circulan en condición de flujo libre, por lo que de las velocidades registradas una gran parte corresponde a usuarios que definen su velocidad libremente. La reducción de velocidad en las velocidades máximas registradas podrías atribuirse a la colocación del señalamiento horizontal (Dientes de Dragón y Rayas con Espaciamiento Logarítmico) ya que fue el único cambio en la vialidad durante el periodo de estudio (Figura 4-19, Figura 4-20, Figura 4-21, Figura 4-22, Figura 4-23 y Figura 4-24).

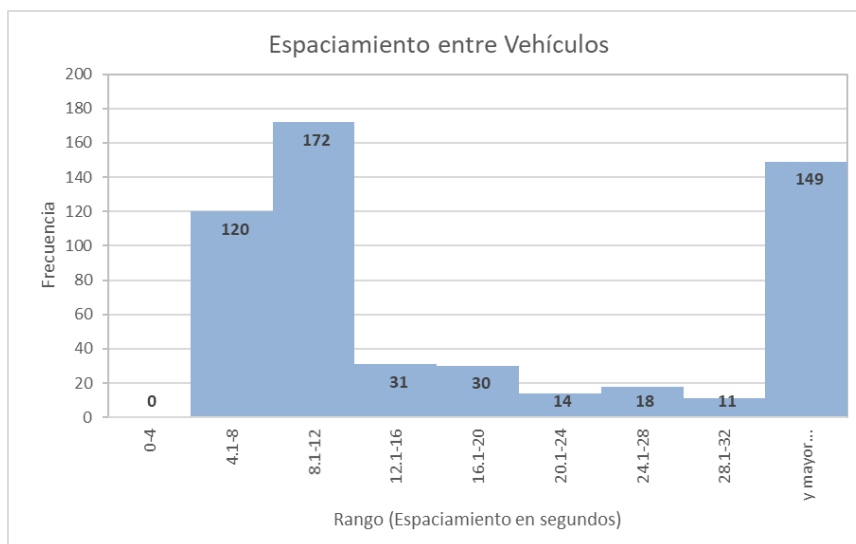


Figura 4-25. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

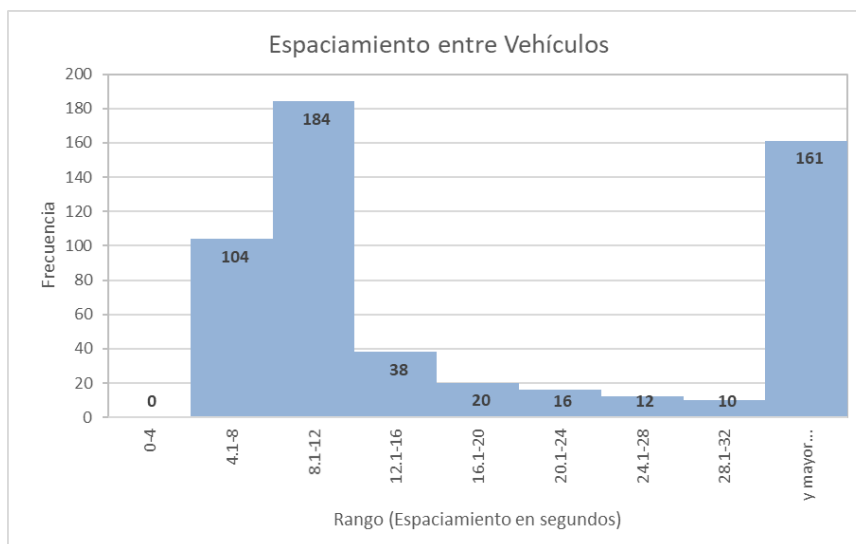


Figura 4-26. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

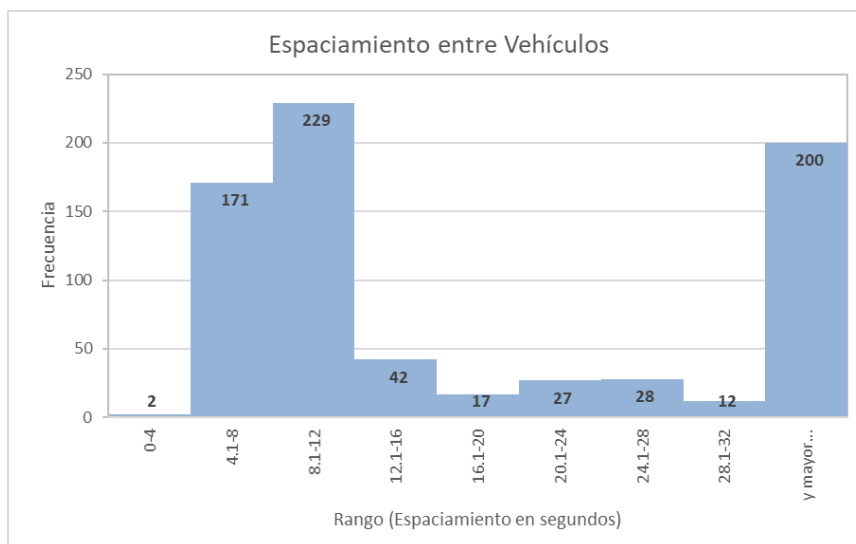


Figura 4-27. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

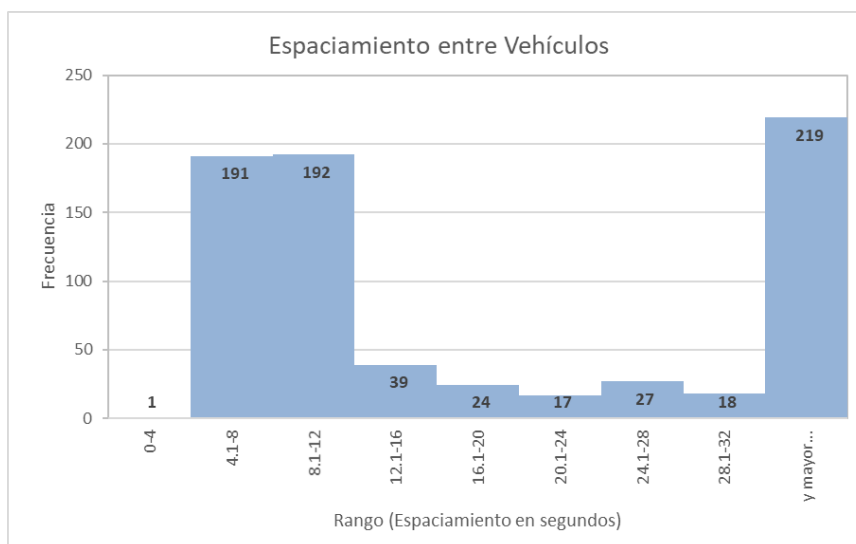


Figura 4-28. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

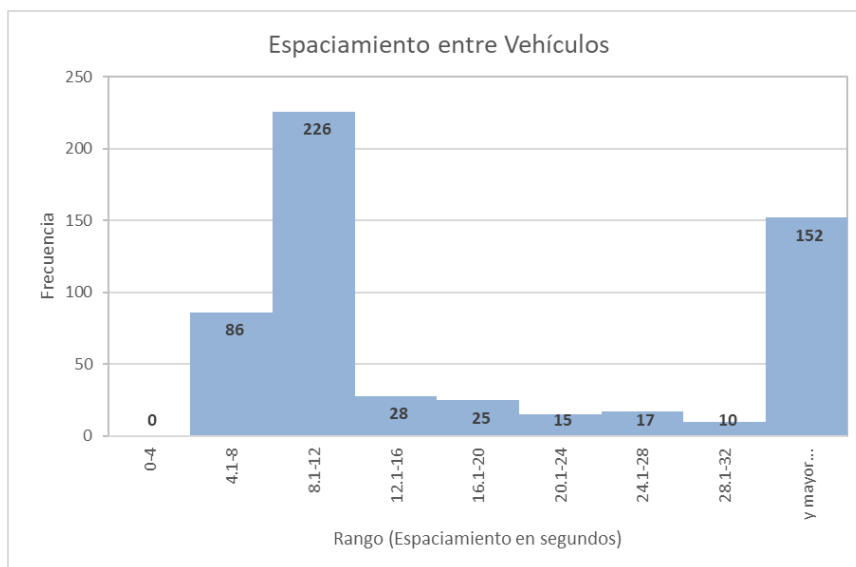


Figura 4-29. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

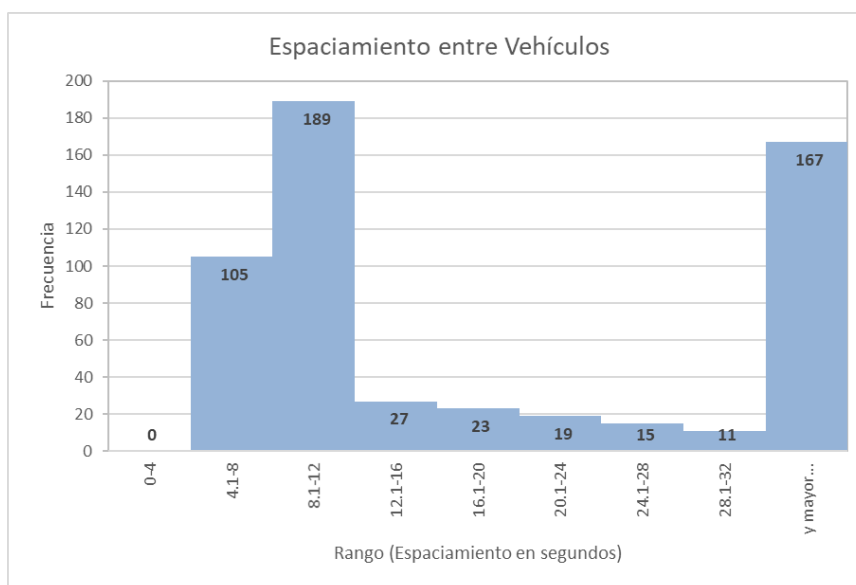


Figura 4-30. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

Con la revisión de las gráficas del espaciamiento medio entre vehículos en la carretera Pátzcuaro – Uruapan libre de cuota (Figura 4-25, Figura 4-26, Figura 4-27, Figura 4-28, Figura 4-29 y Figura 4-30) vemos que la mayoría se vehículos pasan con una separación de entre 8 y 12 segundos, y con una separación mayor a 32 segundos, esto nos dice que la mayoría circulan en condición de flujo libre, así que la velocidad a la que circulan no suele estar condicionada por otros conductores, lo que puede condicionar la velocidad a la que circulan son las condiciones propias de la vialidad, que pueden ser las condiciones geométricas, el señalamiento existente y si existe algún obstáculo. Por lo que las velocidades observadas en la zona 2 pueden deberse a la condición mencionada de un entronque a nivel con una estación de servicios, adicional al señalamiento colocando para las pruebas de la presente investigación.

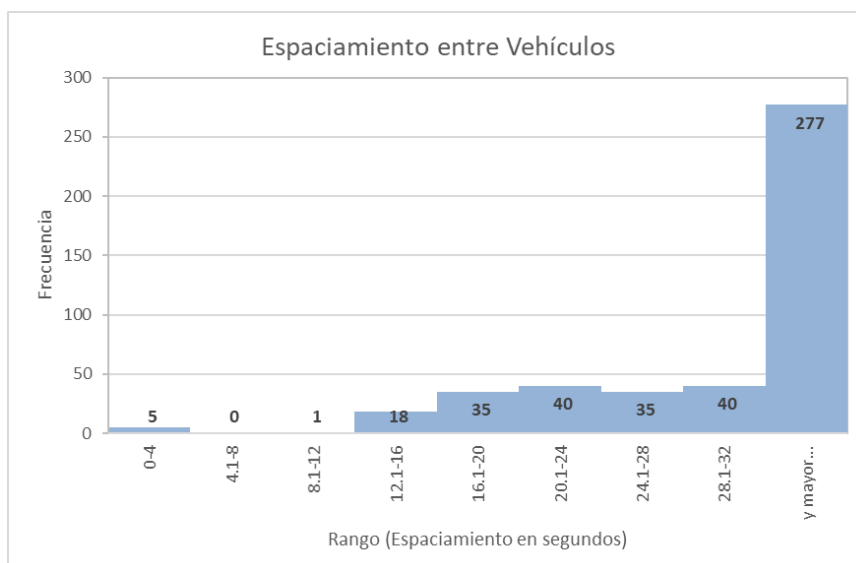


Figura 4-31. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

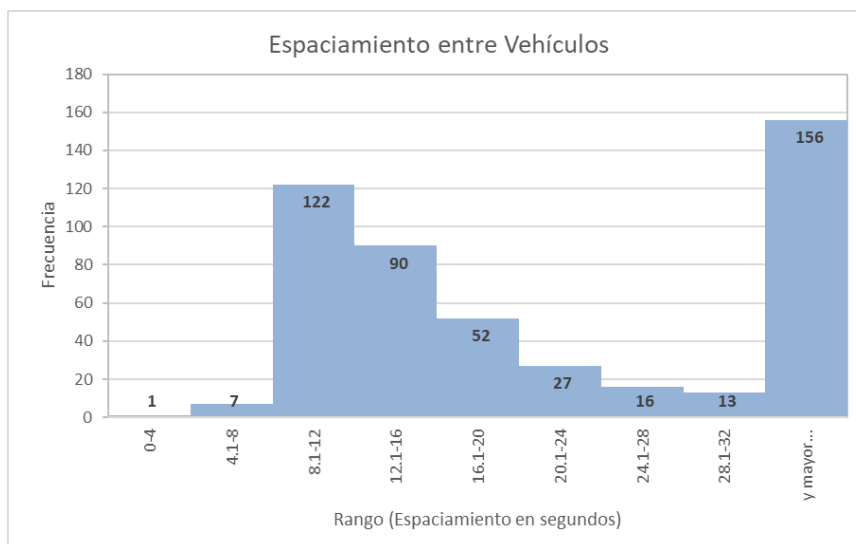


Figura 4-32. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

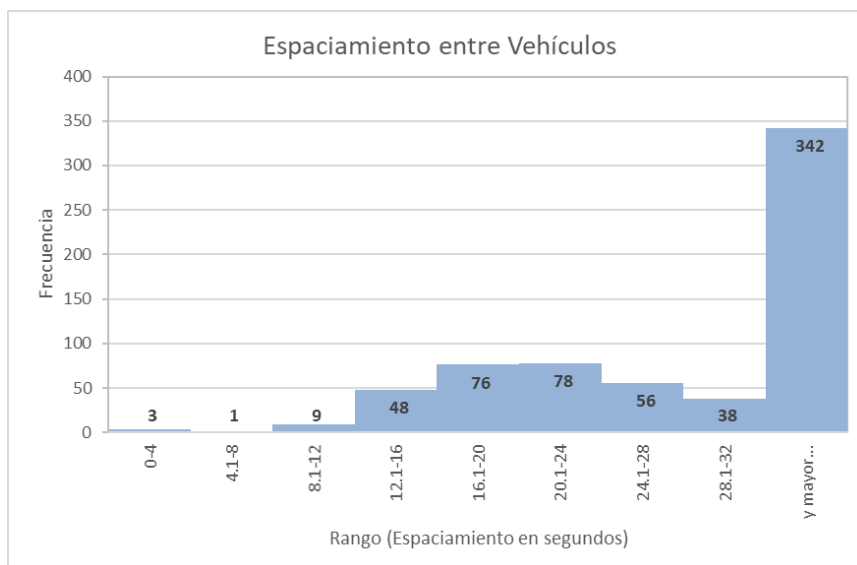


Figura 4-33. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

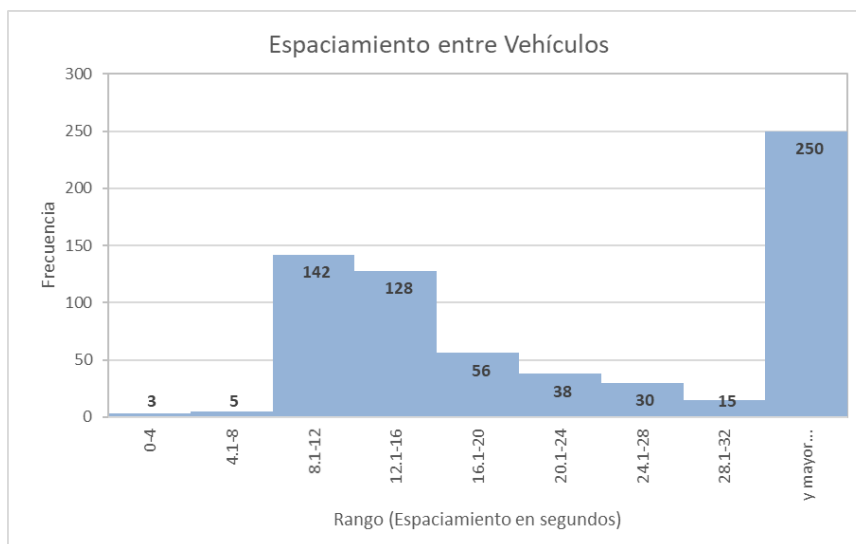


Figura 4-34. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

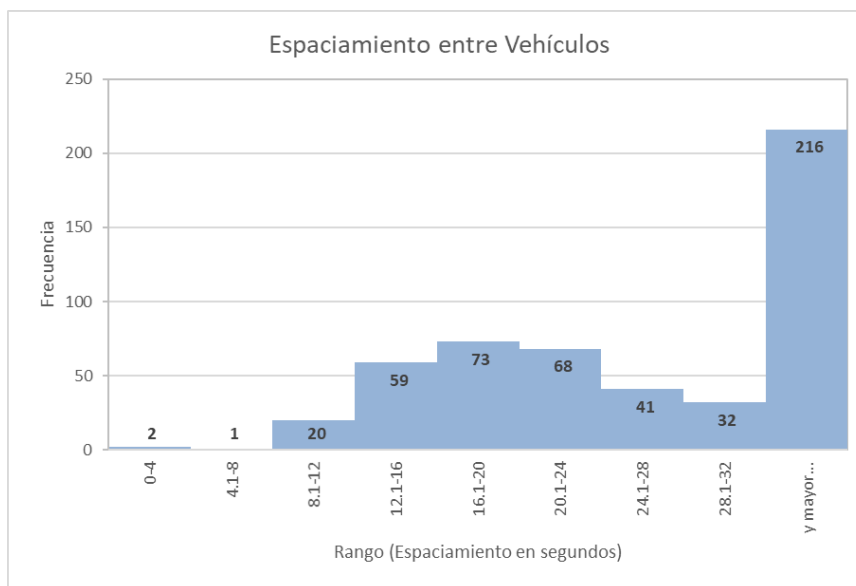


Figura 4-35. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

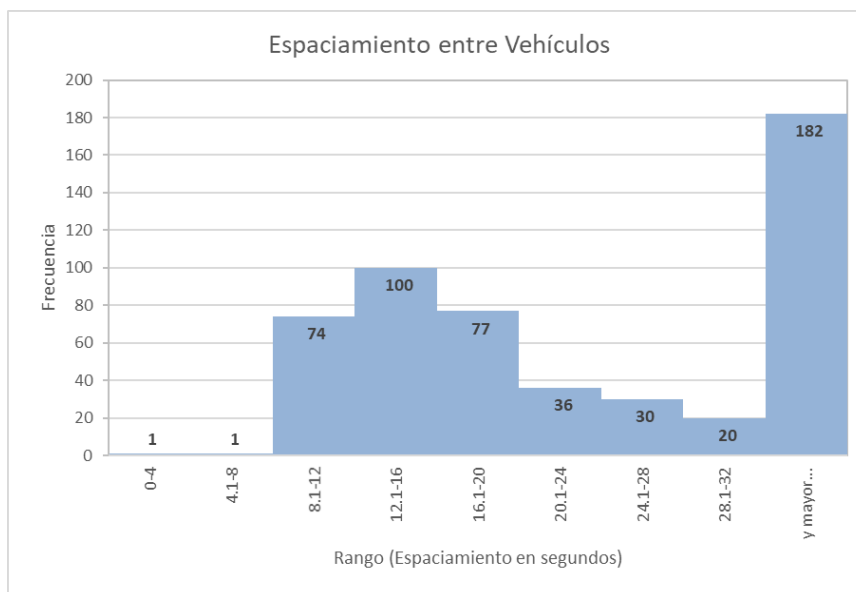


Figura 4-36. Espaciamiento medio entre vehículos Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

Para el caso de la tercera zona de estudio, se puede apreciar en la Figura 4-31, Figura 4-32, Figura 4-33, Figura 4-34, Figura 4-35 y Figura 4-36 que prácticamente todos los vehículos circulan en condición de flujo libre, ya que circulan con un espaciamiento mayor a los 8 segundos (la mayoría con espaciamiento mayor a 32 segundos) por lo que la velocidad de circulación en la zona de estudio depende enteramente del usuario y de las restricciones que pueda tener la vía por sus características (curvas, señalamiento o accesos).

4.1.3 Tasa de flujo

Recordando, la tasa de flujo es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto de un carril o calzada. Es el número de vehículos que pasan por el punto durante un intervalo de tiempo específico, menor a una hora.

De los dos tipos de flujo (continuo e interrumpido) se va a analizar la tasa de flujo continuo, ya que las zonas de estudio no cuentan con interrupciones tales como intersecciones semaforizadas o algo que los detenga debido a un control de tránsito. De igual manera que con la comparativa de velocidades y el espaciamiento medio, se realizó el análisis por zona, dentro de cada zona los 3 escenarios (sin marca, "Dientes de Dragón"

y “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”) y ambas estaciones en cada escenario. Para el caso de la tasa de flujo se realizó el procesamiento de datos para obtener un histograma, en el cual están las clases divididas en vehículos por hora, en rangos de 100 vehículos y agrupando la tasa de flujo de 900 o más vehículos por hora.

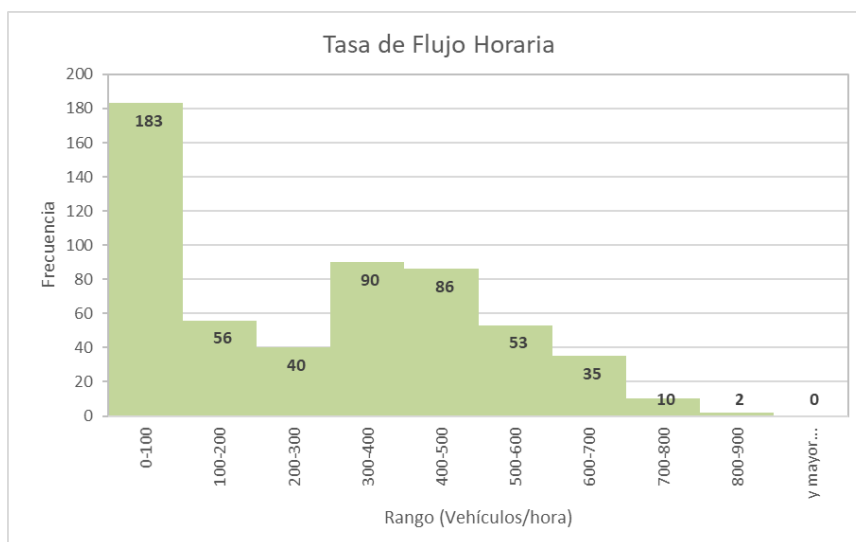


Figura 4-37. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

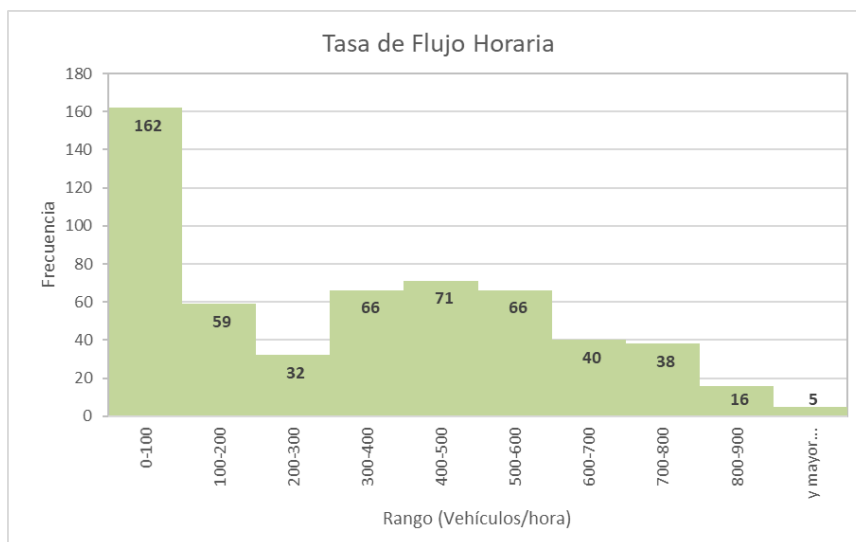


Figura 4-38. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

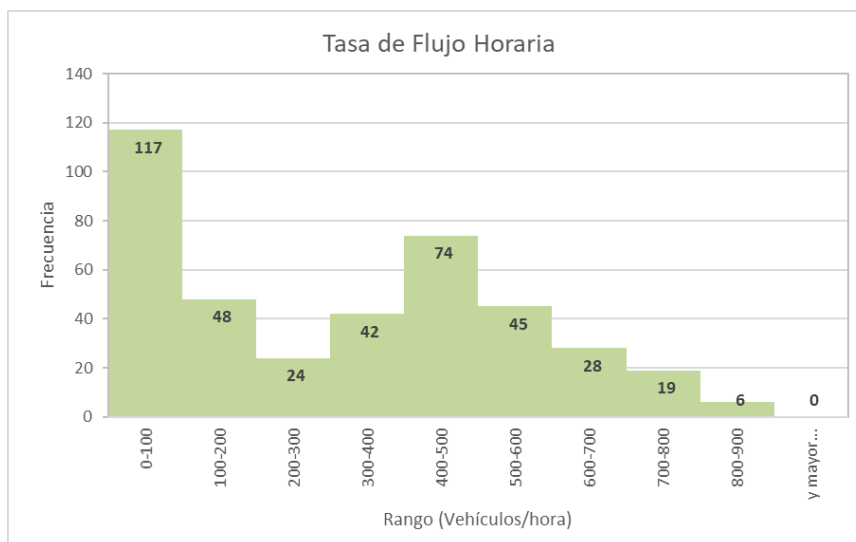


Figura 4-39. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

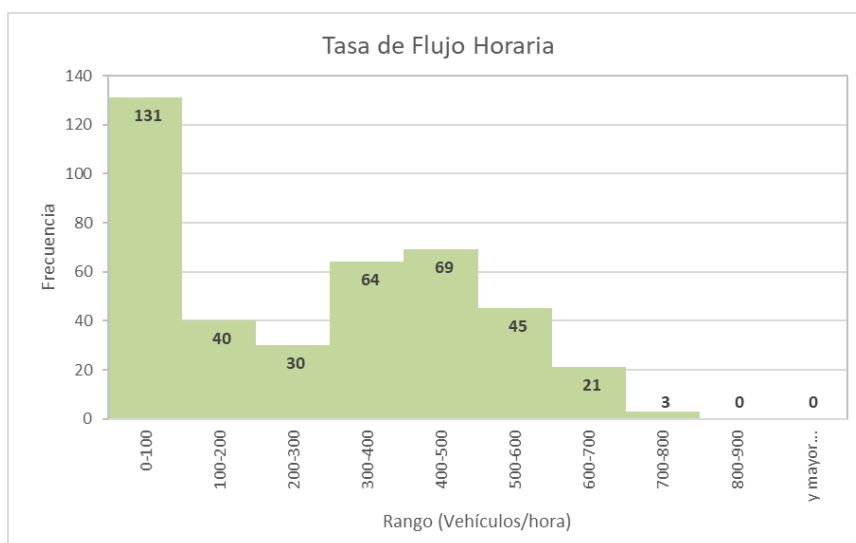


Figura 4-40. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

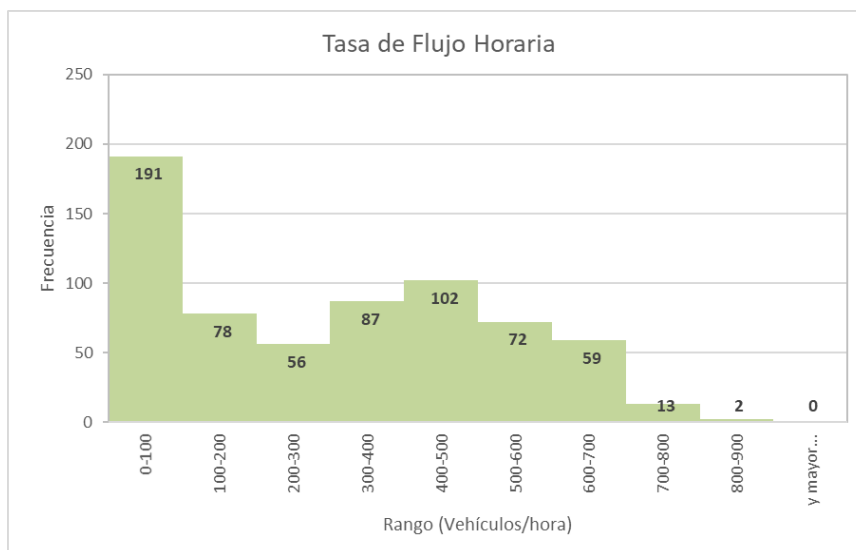


Figura 4-41. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

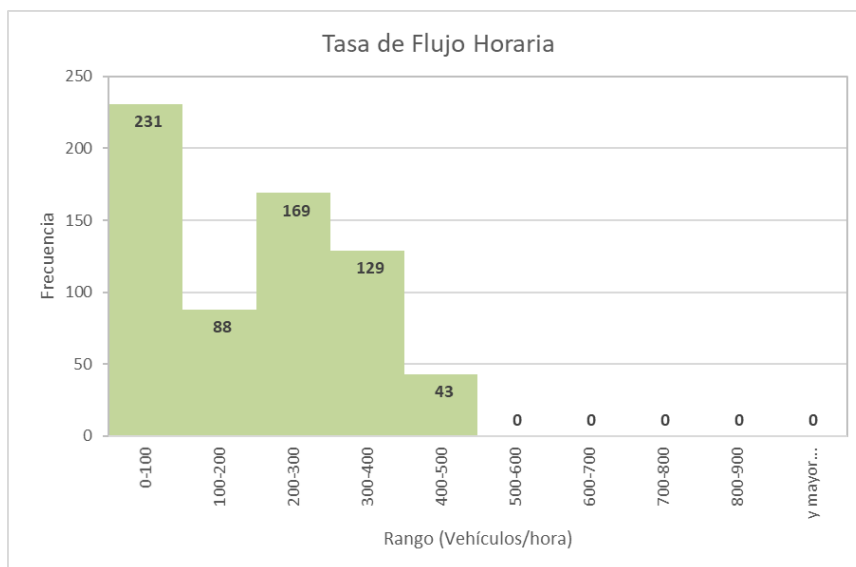


Figura 4-42. Tasa de flujo Carretera Carapan - Playa Azul, tramo Carapan - Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

Podemos observar que la tasa de flujo en la zona 1 está entre el mínimo de vehículos y 500 vehículos por hora circulando en la zona, una tasa de flujo en promedio de

9 vehículos por minutos (Figura 4-37, Figura 4-38, Figura 4-39, Figura 4-40, Figura 4-41 y Figura 4-42), claro considerar que en las horas pico es cuando se siente la mayor concentración de vehículos. La tasa de flujo que va de la mano con el espaciamiento medio entre vehículos (ya que al tener un espaciamiento entre vehículos menor significa que están circulando más usuarios sobre la vialidad en un tiempo dado) pueden tener influencia en la velocidad a la que los usuarios se conducen, al tener una menor tasa de flujo los usuarios son más libre en elegir su velocidad y es cuando pueden verse mayormente influenciados por el señalamiento y condiciones de la vía. Por lo que la tasa de flujo puede tener una influencia determinante para conocer si el señalamiento colocado sobre las vialidades logra una reducción en los usuarios.

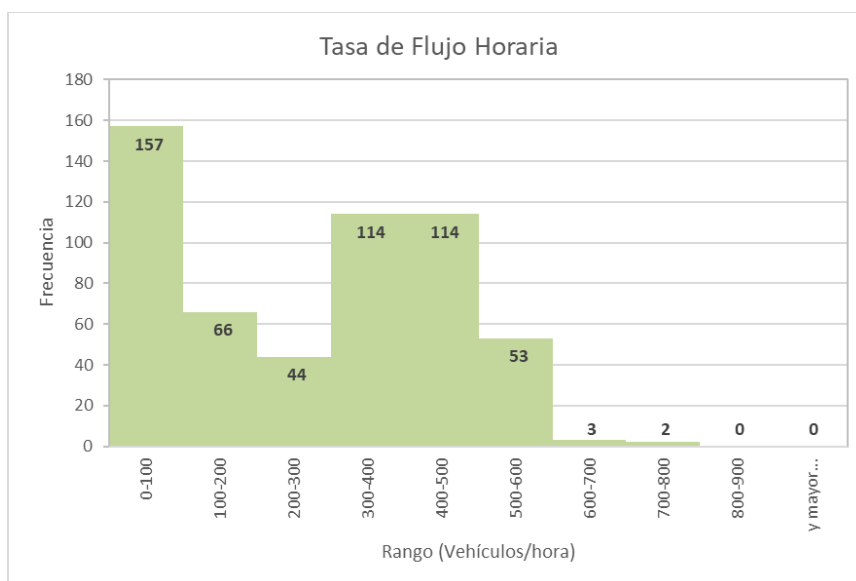


Figura 4-43. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

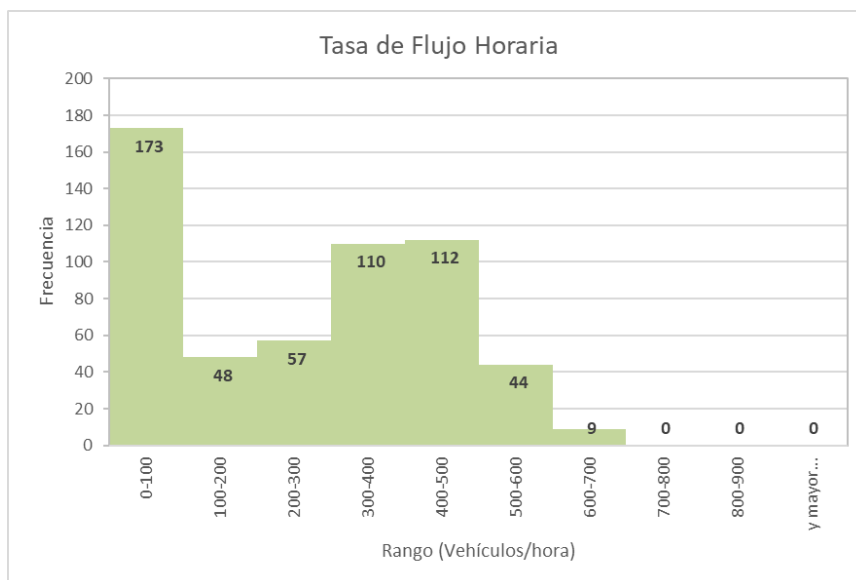


Figura 4-44. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

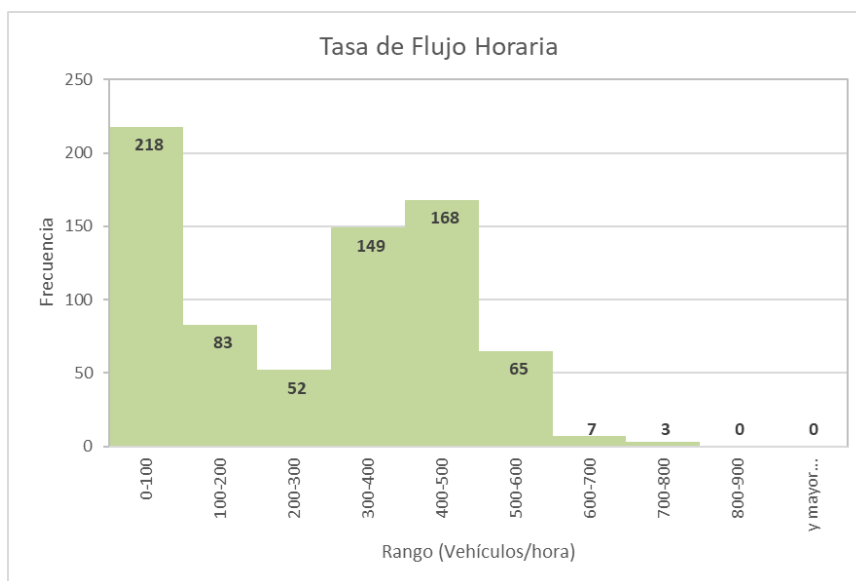


Figura 4-45. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

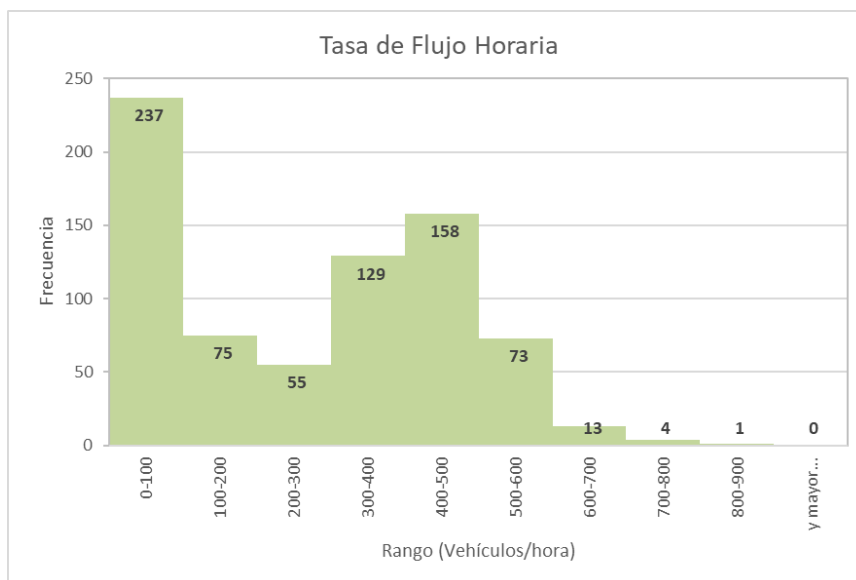


Figura 4-46. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

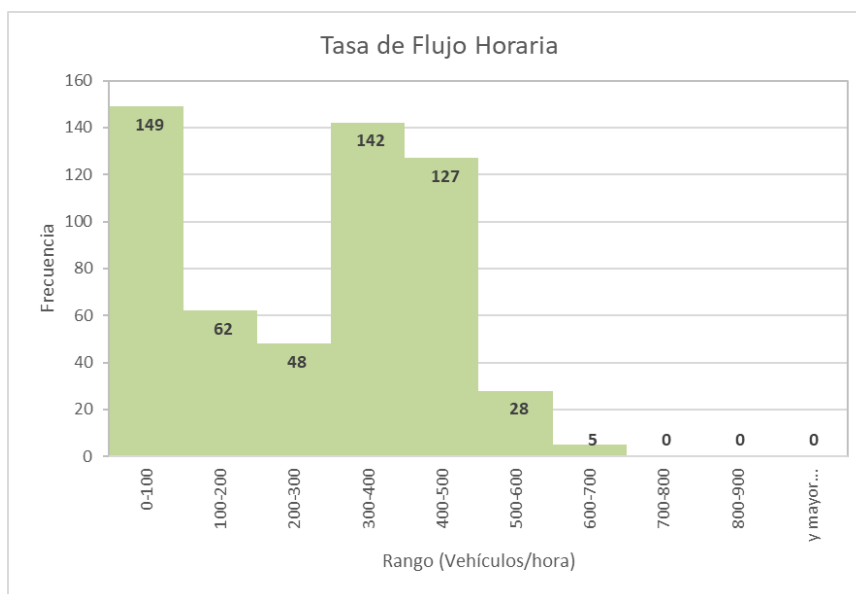


Figura 4-47. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

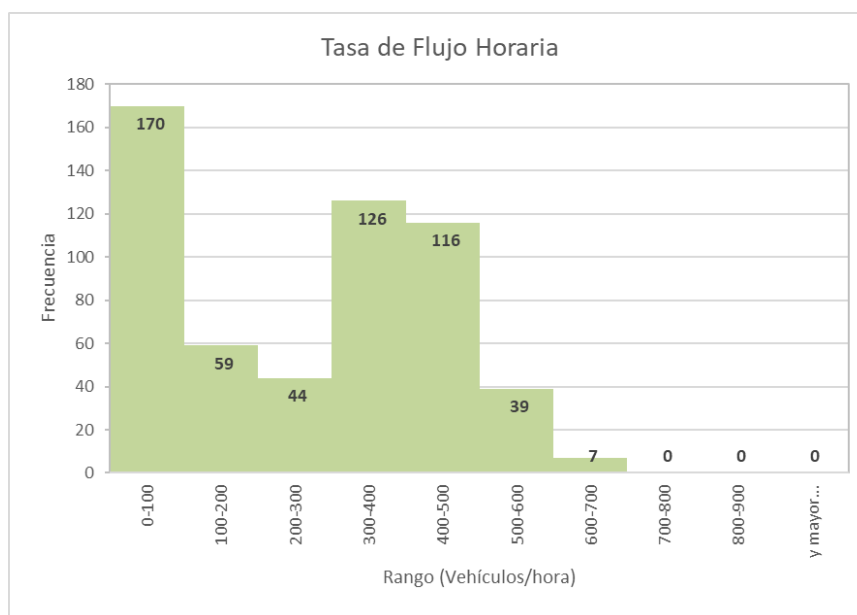


Figura 4-48. Tasa de flujo Carretera Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

La tasa de flujo en la zona 2 tiene un comportamiento similar a la zona 1, concentrando la mayoría de los vehículos por hora entre el mínimo y 500 (Figura 4-43, Figura 4-44, Figura 4-45, Figura 4-46, Figura 4-47 y Figura 4-48), la influencia de la tasa de flujo es similar, al existir menos vehículos, los usuarios se conducen a una velocidad que se ve influenciada por las condiciones existentes en la vialidad.

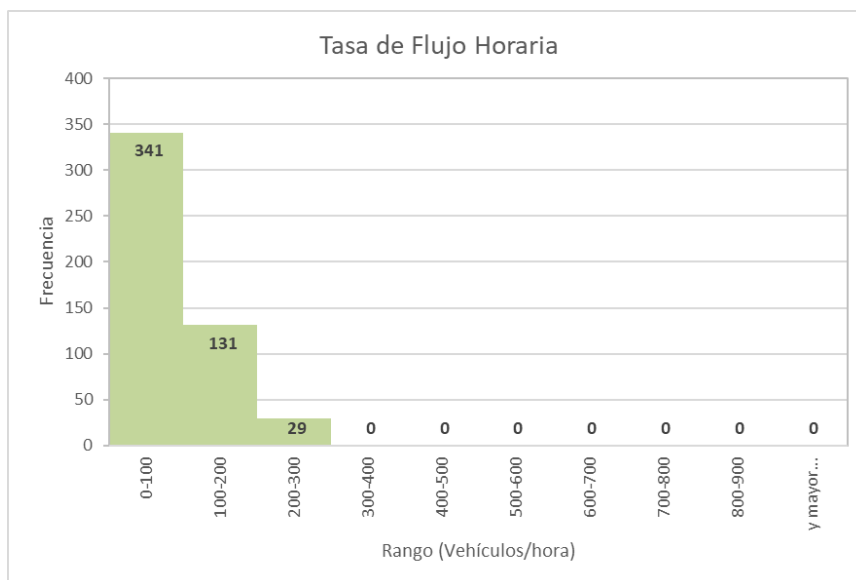


Figura 4-49. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1 (Fuente propia).

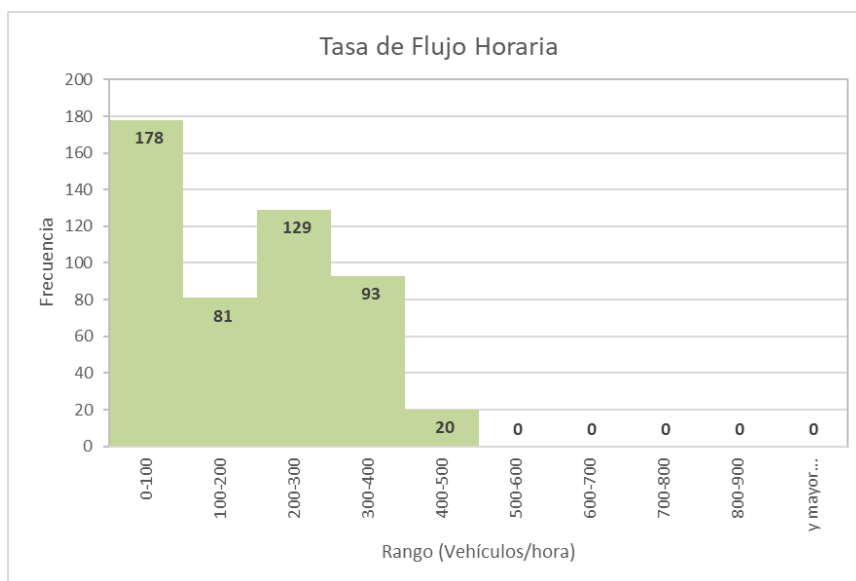


Figura 4-50. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2 (Fuente propia).

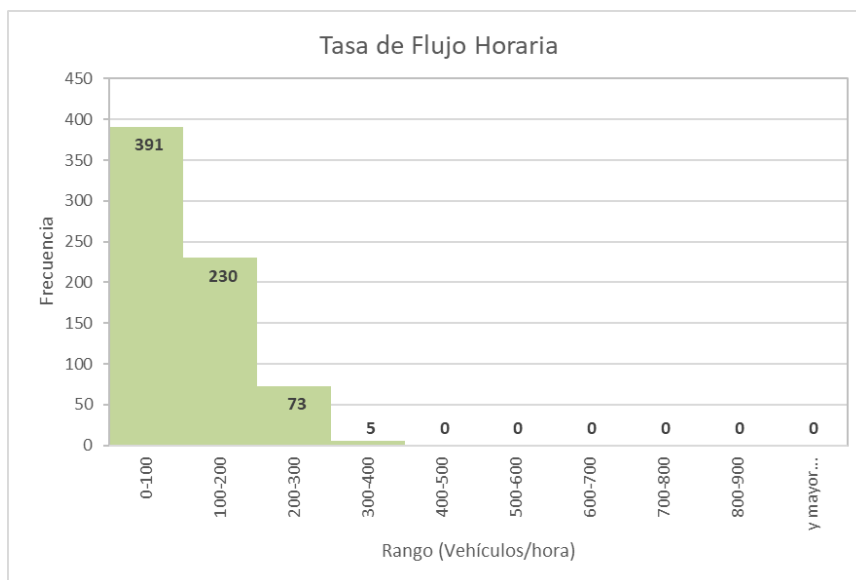


Figura 4-51. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1 (Fuente propia).

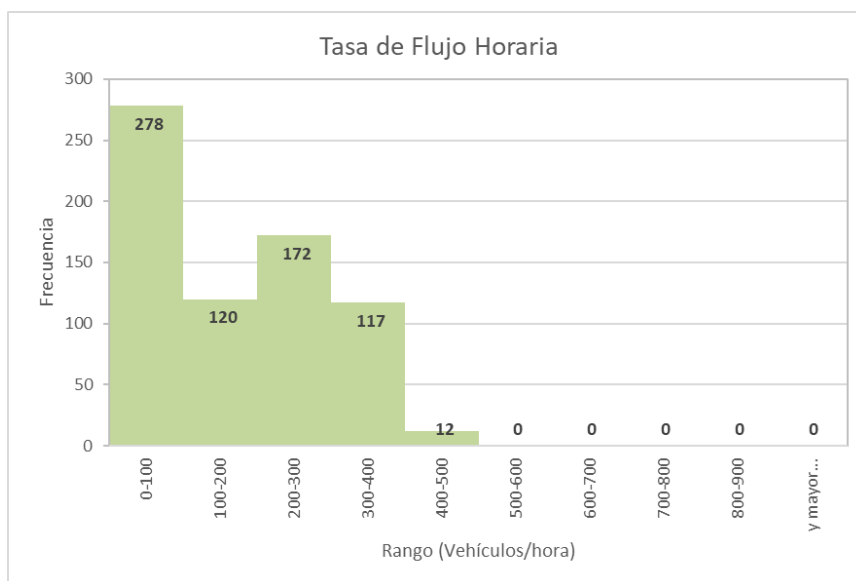


Figura 4-52. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2 (Fuente propia).

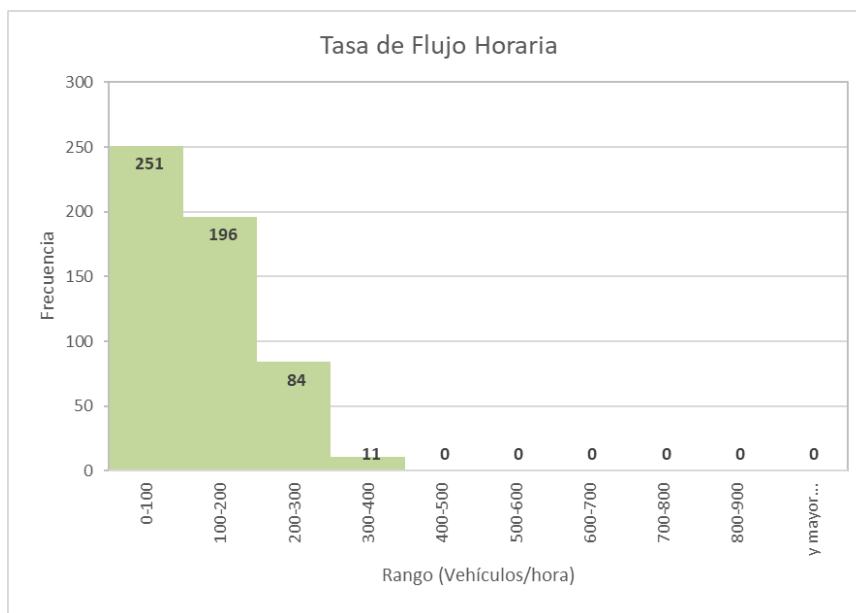


Figura 4-53. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1 (Fuente propia).

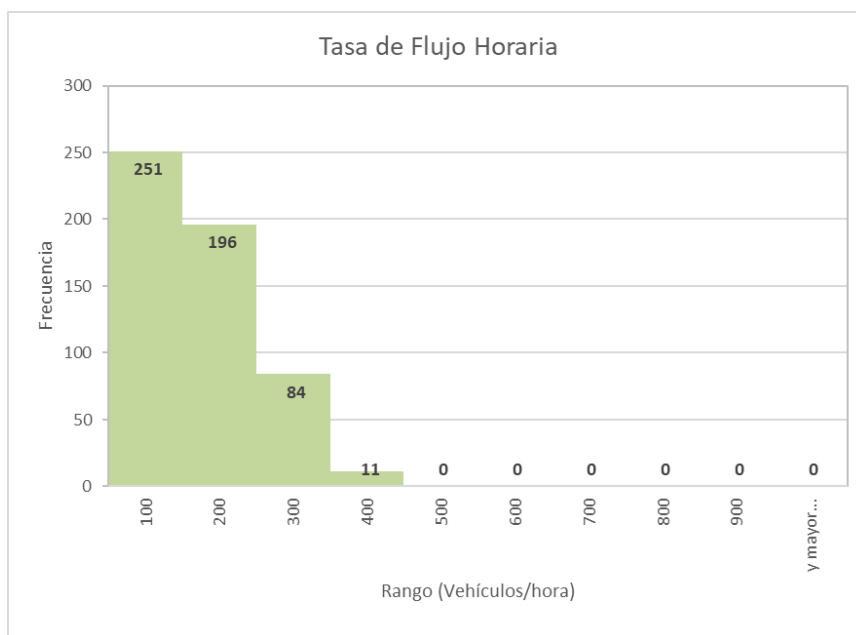


Figura 4-54. Tasa de Flujo Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2 (Fuente propia).

La tasa de flujo en la zona 3 tiene un menos número de vehículos por hora, las gráficas nos indican que circulan menos de 300 vehículos por hora por la vialidad (Figura 4-49, Figura

4-50, Figura 4-51, Figura 4-52, Figura 4-53 y Figura 4-54), lo que permite una circulación en flujo libre para los usuarios y puede elegir su velocidad, por lo que la influencia del señalamiento y las condiciones geométricas de la vía son parte de lo que pueden hacer al usuario regir su circulación.

4.2 Factores asociados al desempeño de las marcas exploradas

A continuación, se presentan las gráficas donde se representan los datos filtrados de cada escenario. Las gráficas se concentran en los datos de si se respeta o no el límite de velocidad (70 km/h para las tres zonas de estudio) tanto en la estación 1 como en la estación 2, si la circulación del vehículo se produce en condición de flujo libre de igual manera para las estaciones 1 y 2, además de representar si el vehículo circuló entre semana o fin de semana, el horario del día en que circulan y la condición de luz.

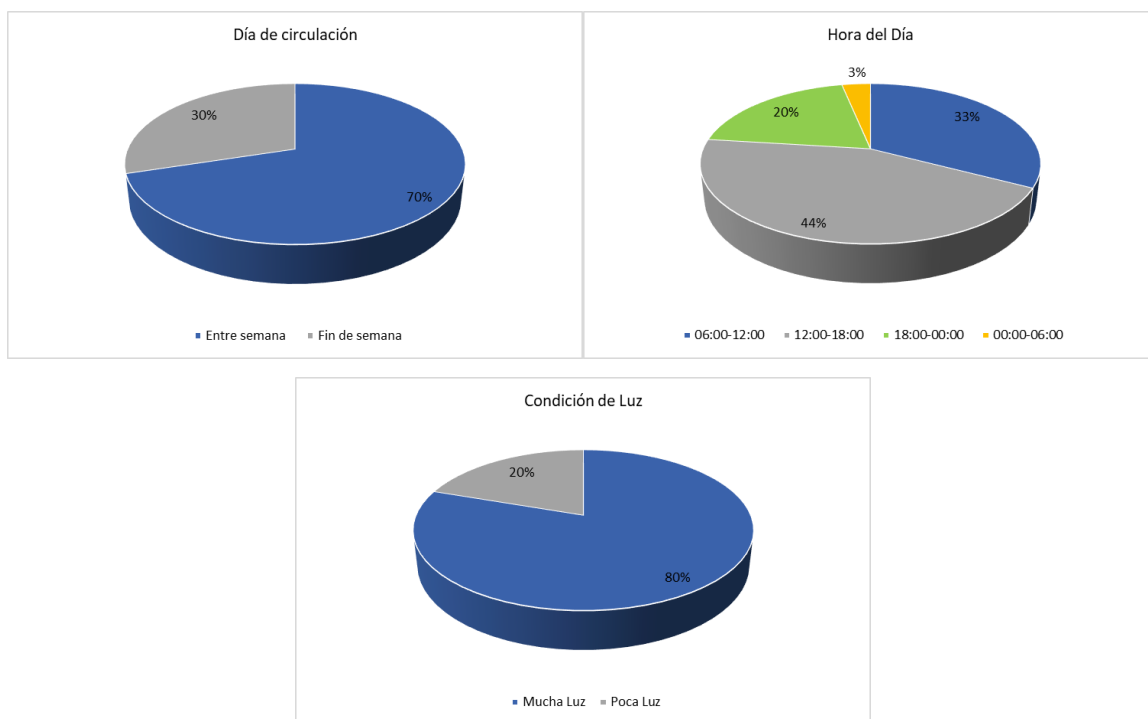


Figura 4-55. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición sin marca.

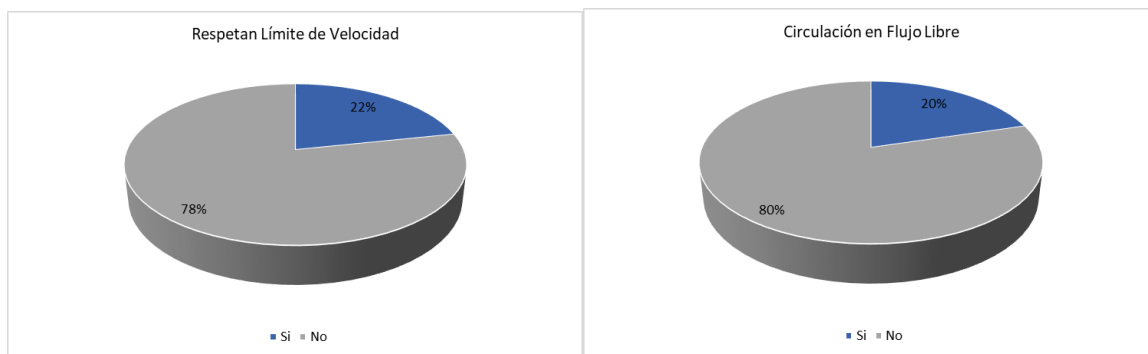


Figura 4-56. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición sin marca. Estación 1.

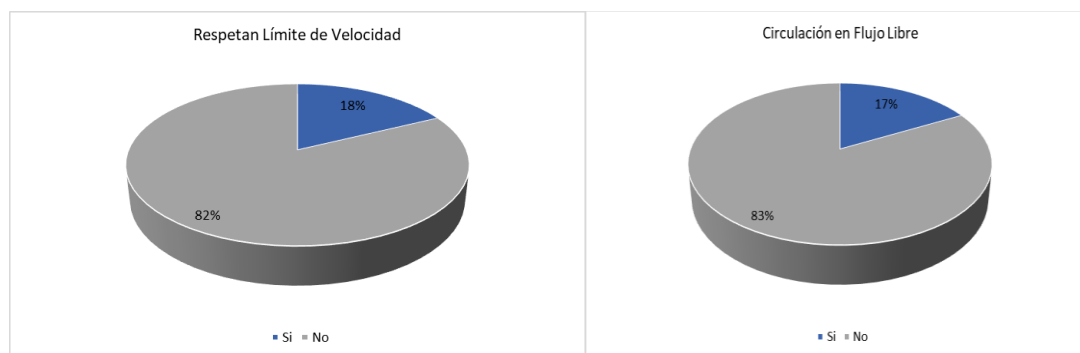


Figura 4-57. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición sin marca. Estación 2.

Cabe mencionar que de los tres sitios de estudios, la carretera Carapan – Uruapan, Tramo Carapan – Uruapan, es el sitio donde los usuarios tienen una mayor incidencia en cuanto al límite de velocidad, destacando que más del 80% de los vehículos no respetan el límite de velocidad, lo cual es un foco rojo en términos de seguridad vial ya que se puede convertir en una zona con alto índice de accidentabilidad por las velocidades reflejadas en los aforos realizados. El hecho de que los vehículos tengan una circulación en seguimiento vuelve más latente un posible accidente debido a que tiene un alto flujo vehicular a altas velocidades.

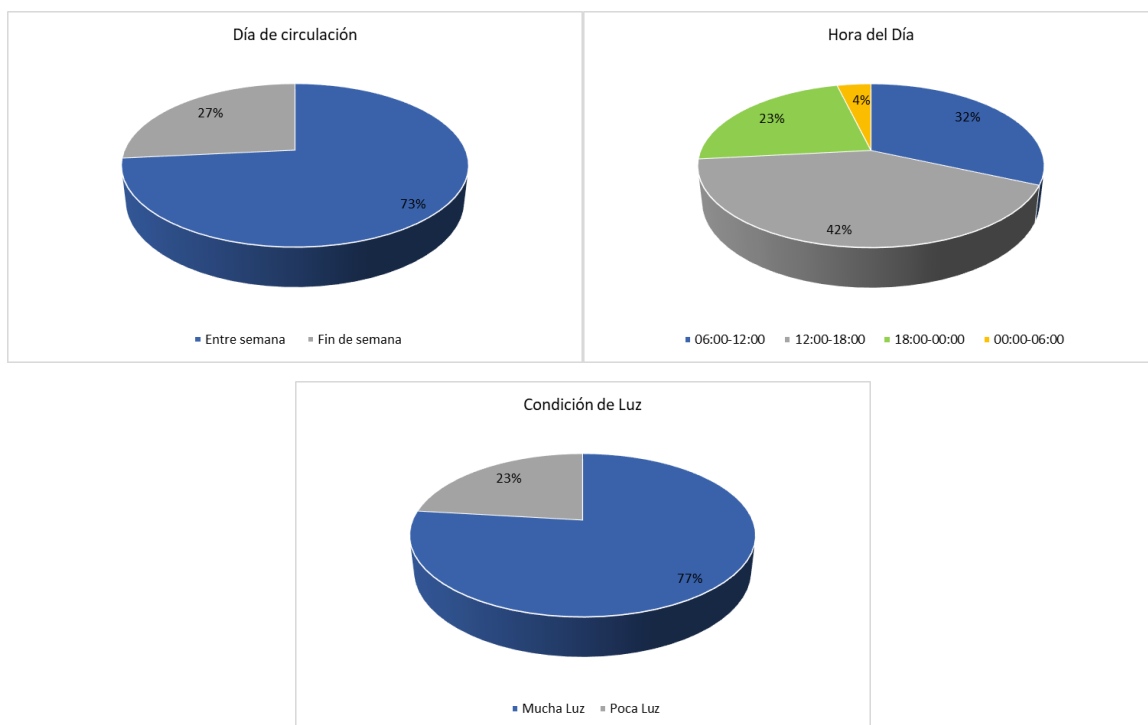


Figura 4-58. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca.

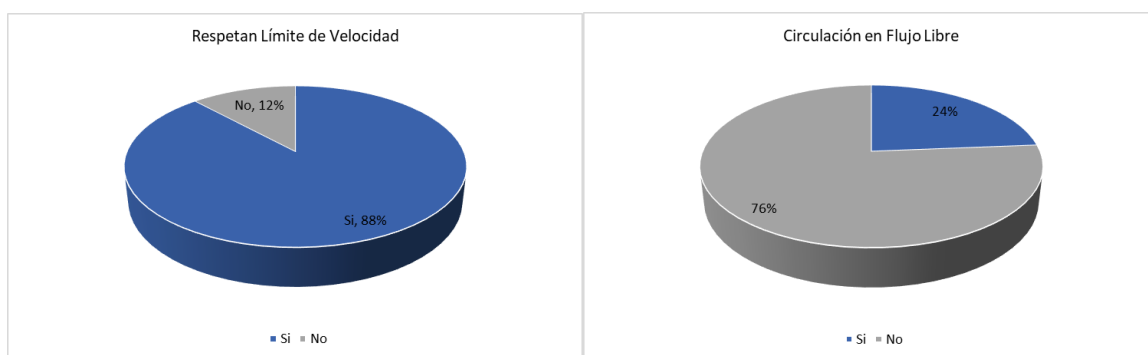


Figura 4-59. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 1.

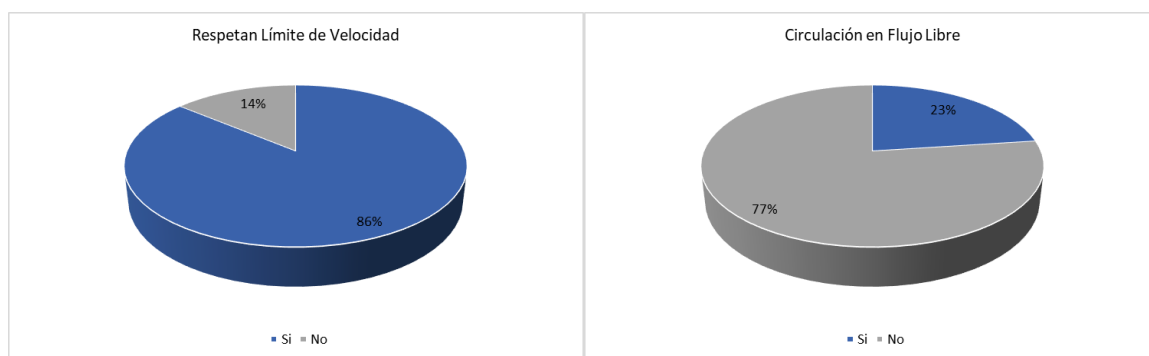


Figura 4-60. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición sin marca. Estación 2.

Contrario a la carretera Carapan – Uruapan, los vehículos en su mayoría circulan por debajo del límite de velocidad, por lo que la importancia de este sitio es la disminución de la velocidad para que al ingresar a la mancha urbana se conduzcan de manera adecuada a la zona correspondiente.

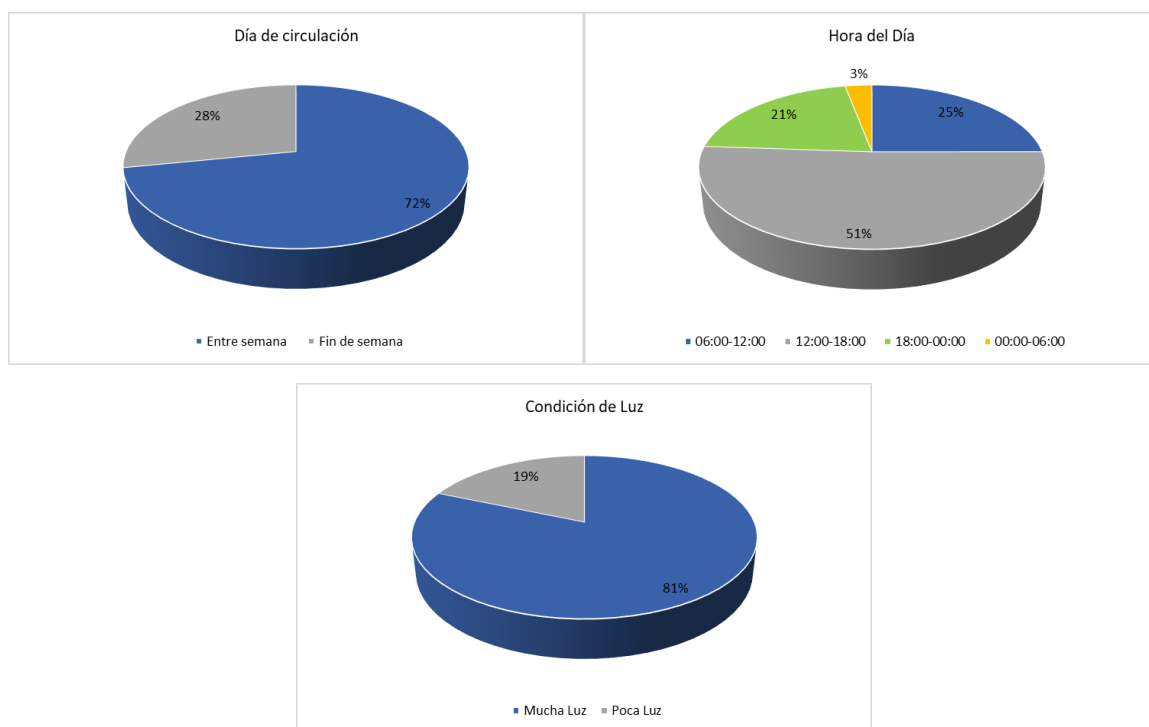


Figura 4-61. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca.

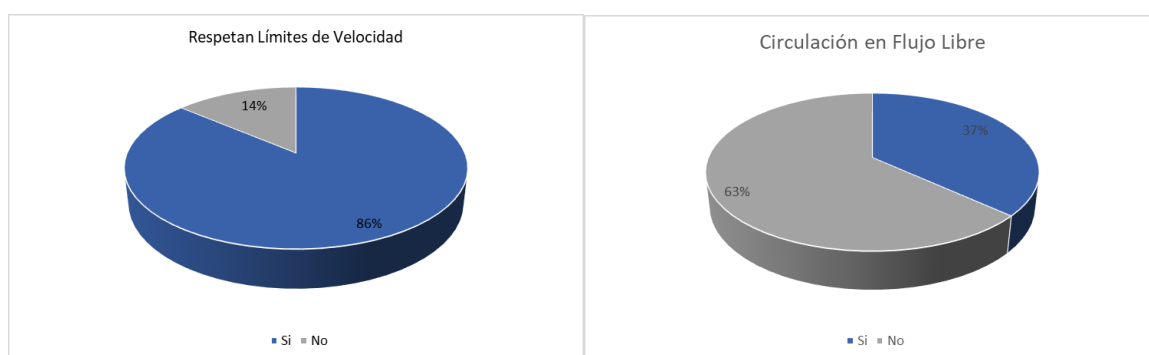


Figura 4-62. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 1.

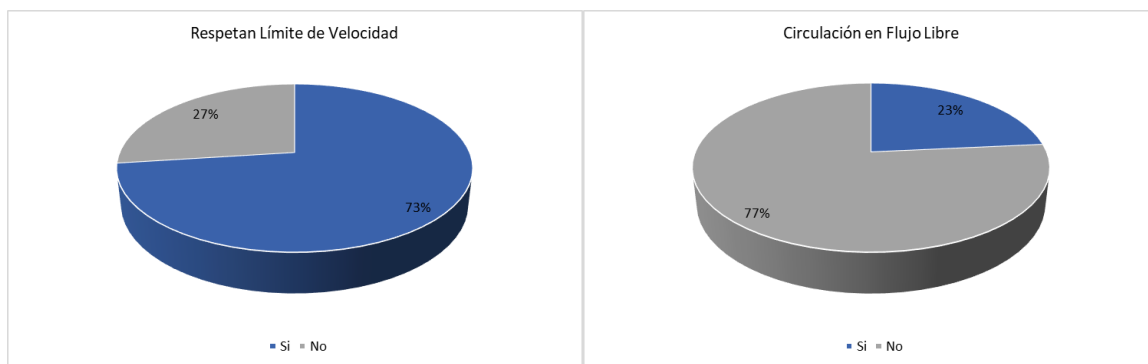


Figura 4-63. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición sin marca. Estación 2.

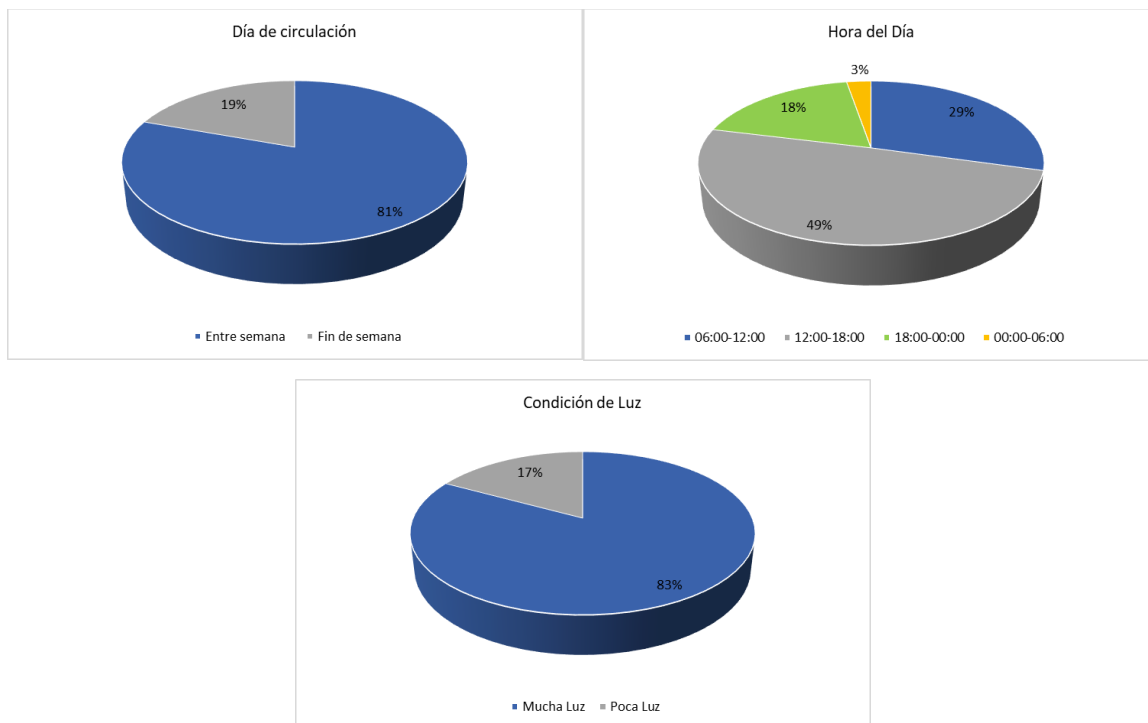


Figura 4-64. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca “Dientes de Dragón”.

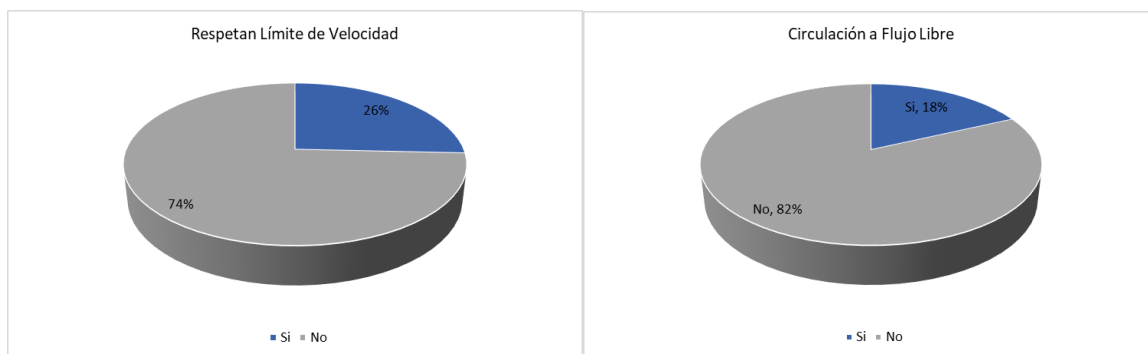


Figura 4-65. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1.

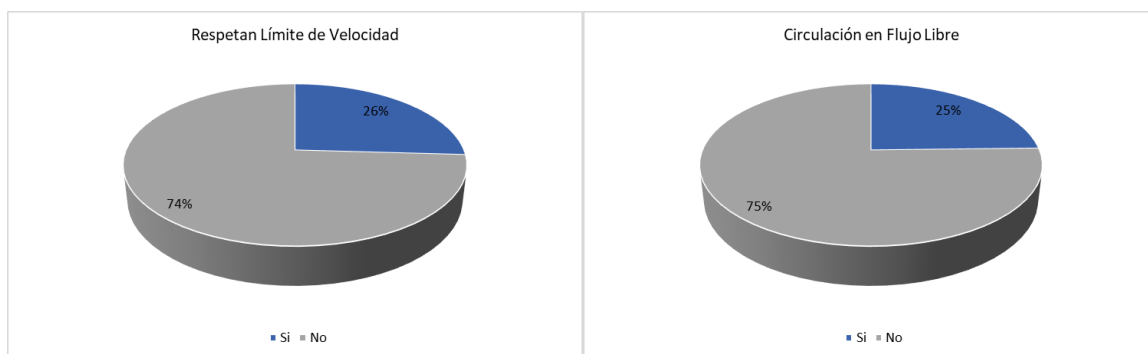


Figura 4-66. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2.

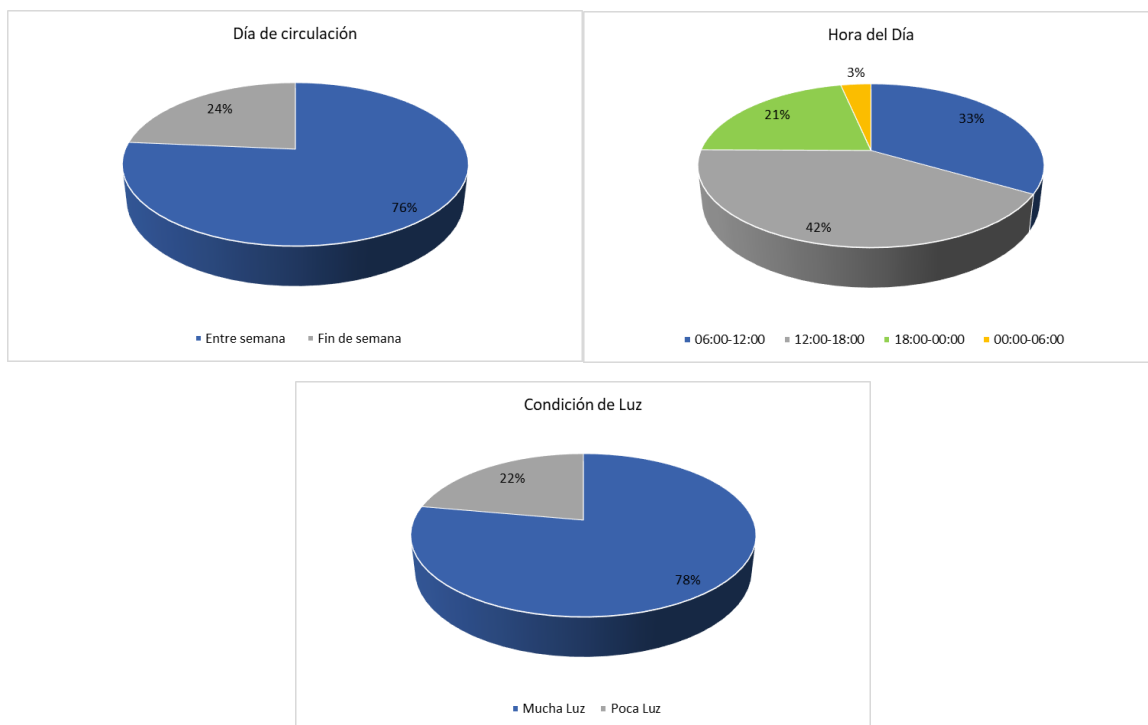


Figura 4-67. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca “Dientes de Dragón”

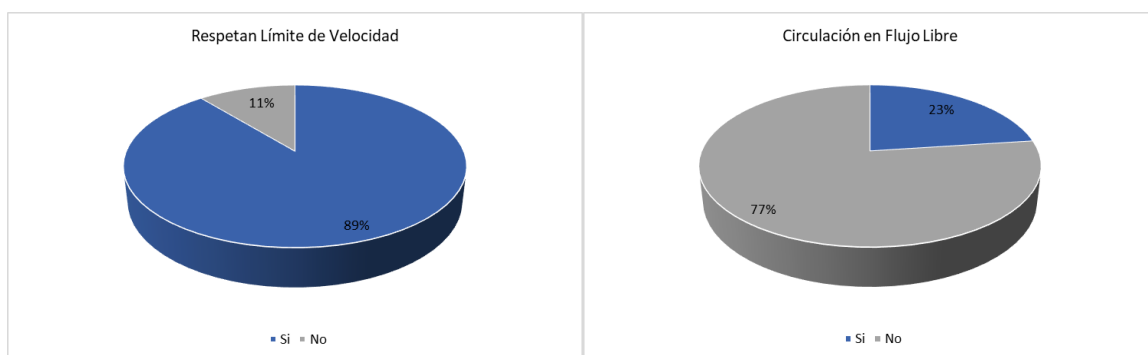


Figura 4-68. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1.

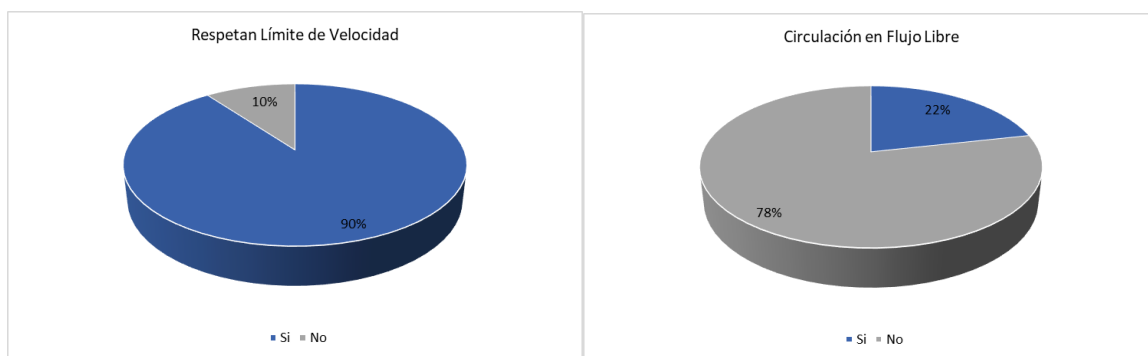


Figura 4-69. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2.

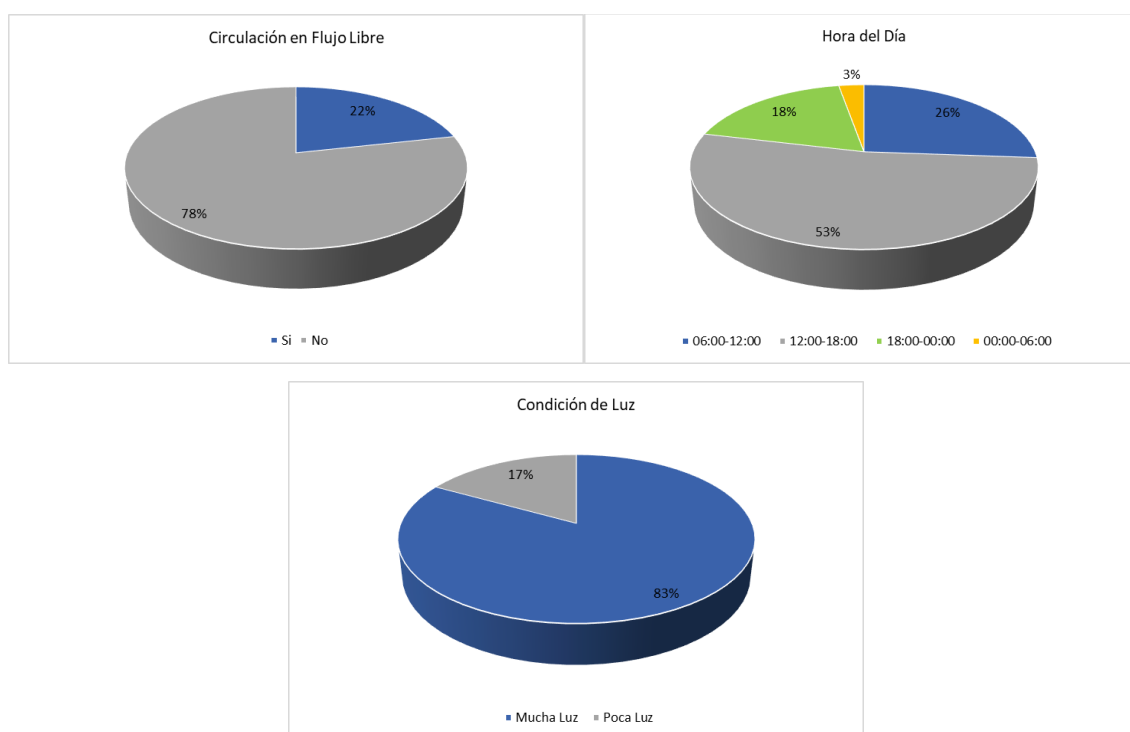


Figura 4-70. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón".

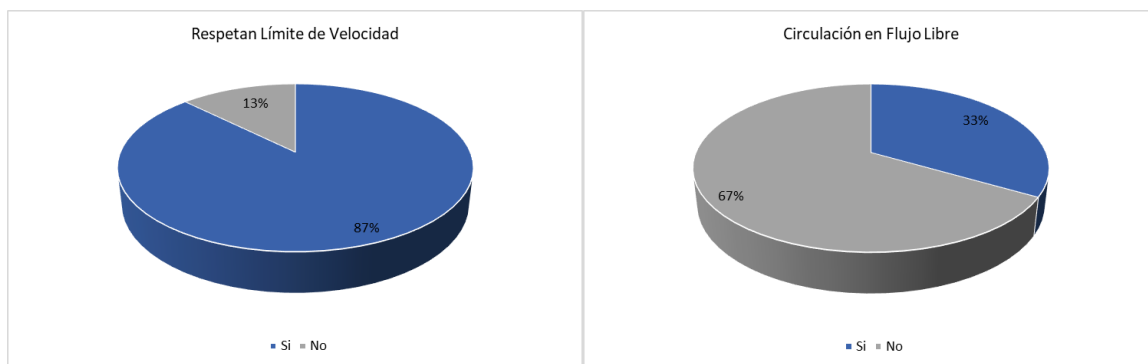


Figura 4-71. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 1.

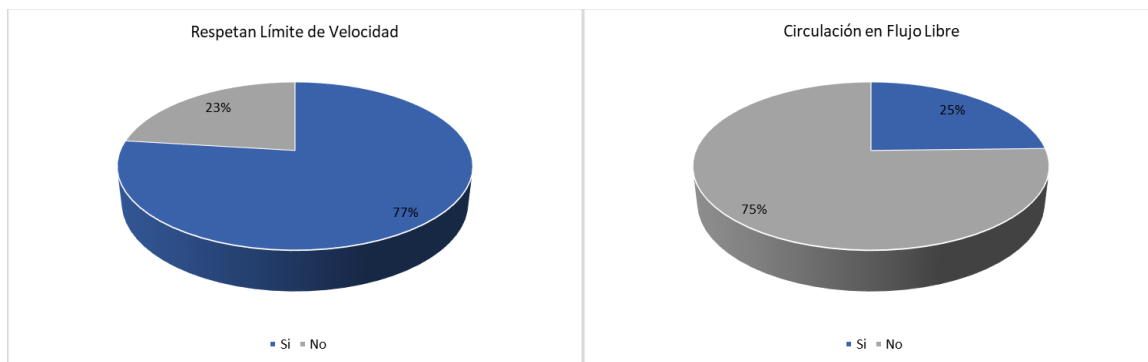


Figura 4-72. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Dientes de Dragón". Estación 2.

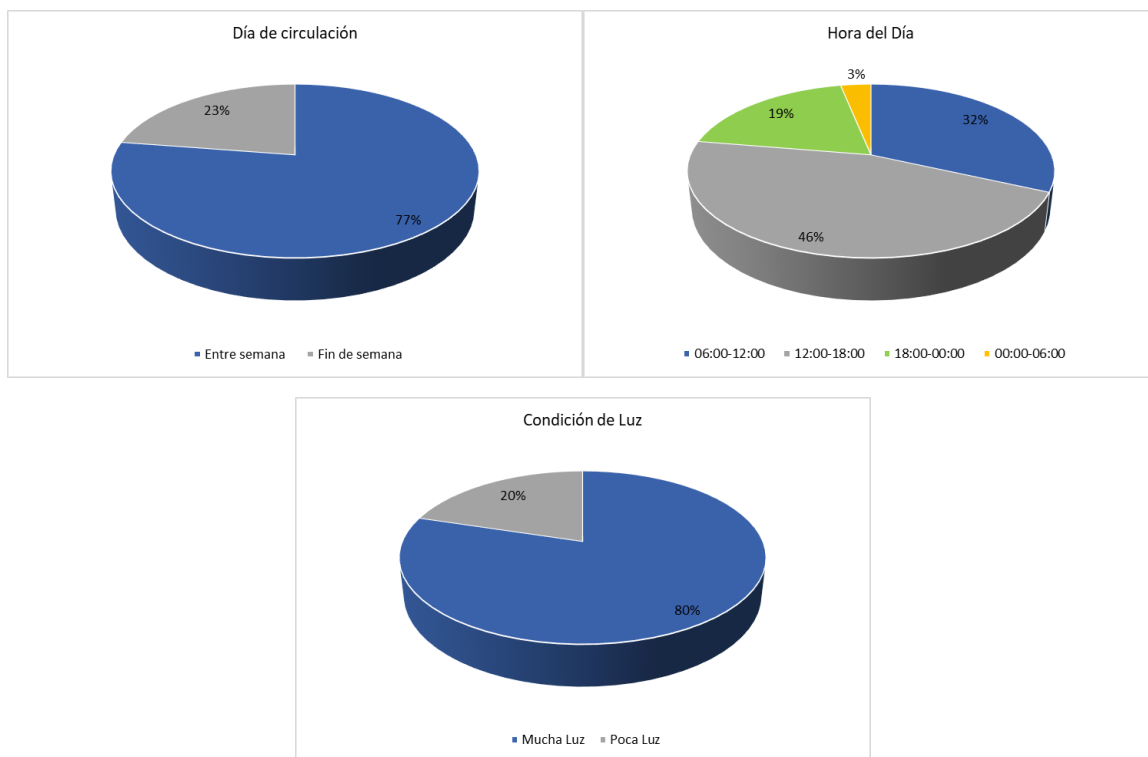


Figura 4-73. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”.

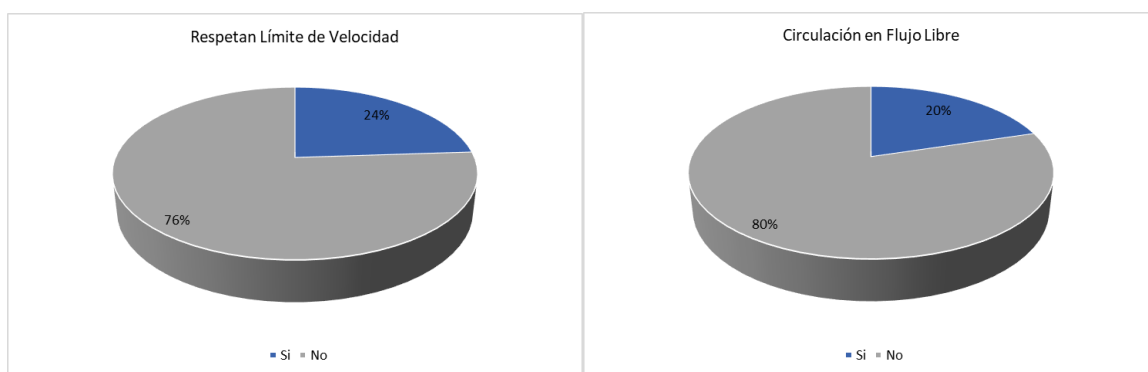


Figura 4-74. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan –

Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1.

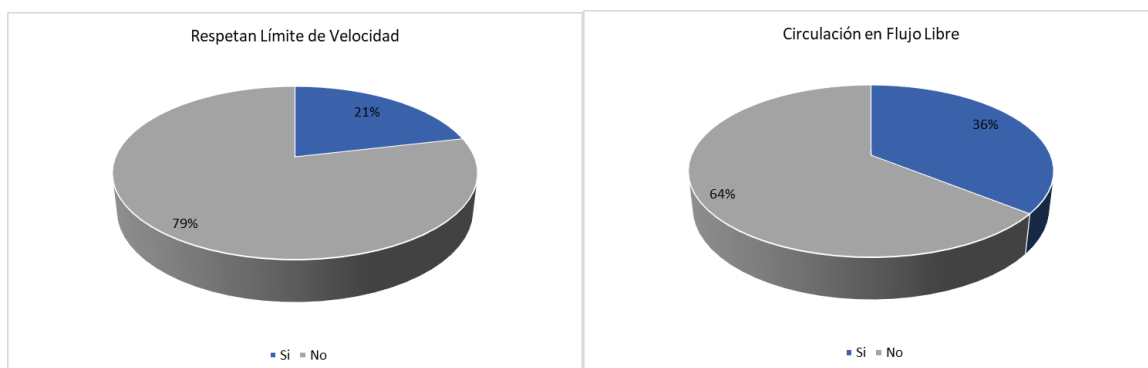


Figura 4-75. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2.

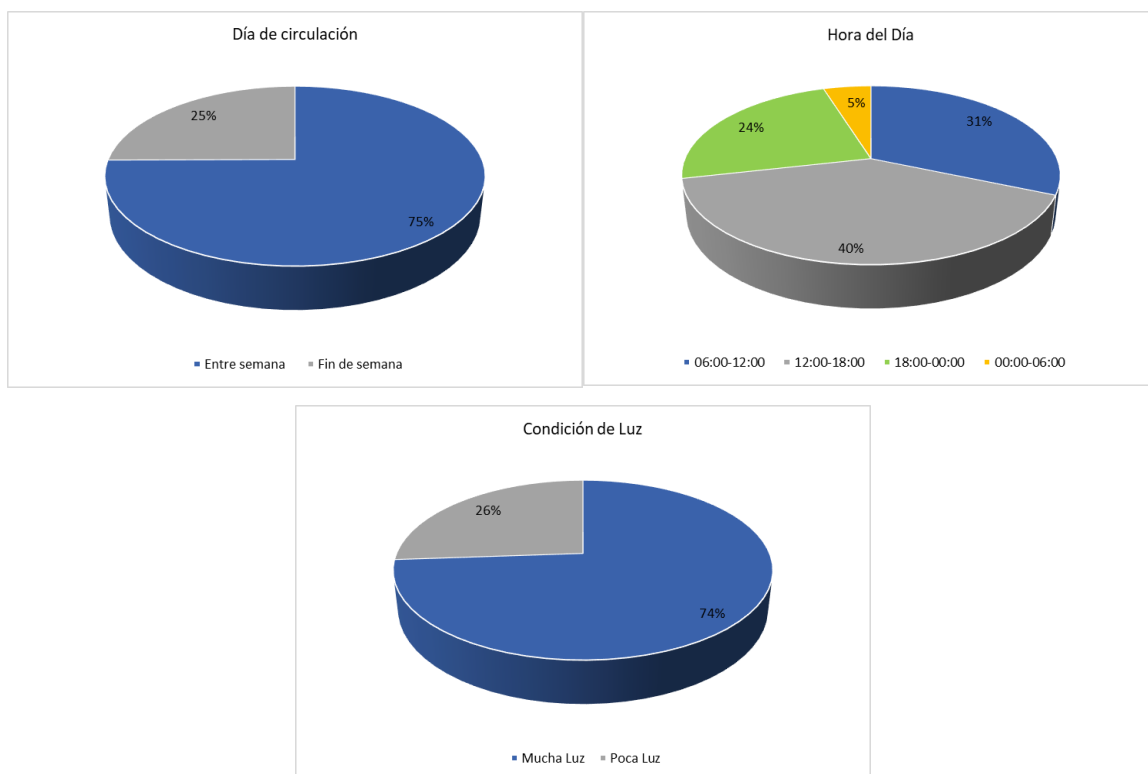


Figura 4-76. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de

vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”.

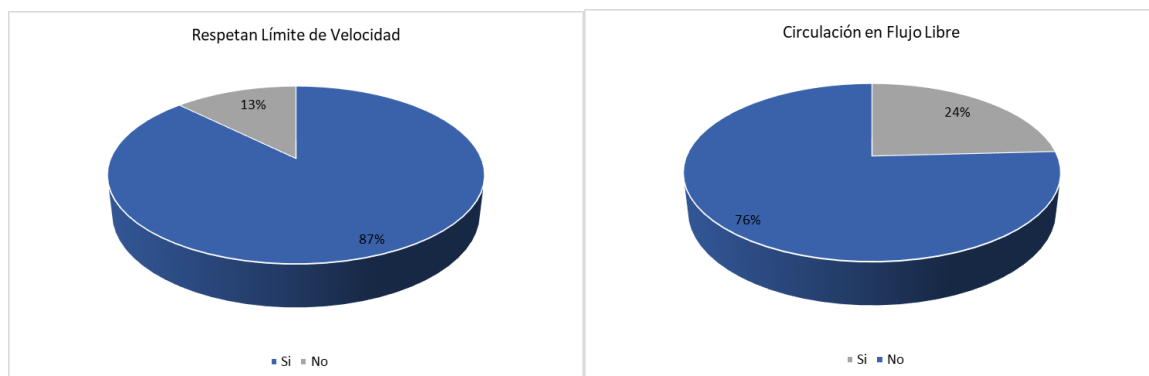


Figura 4-77. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1.

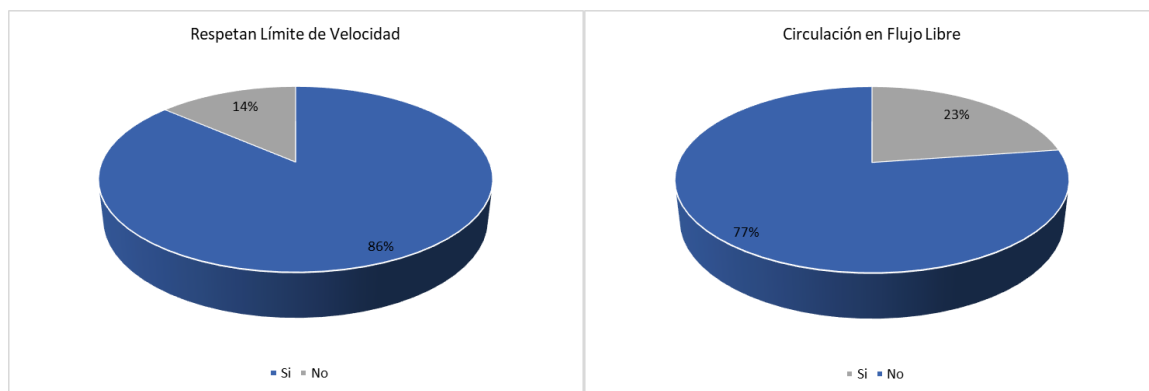


Figura 4-78. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan Libre de Cuota. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2.

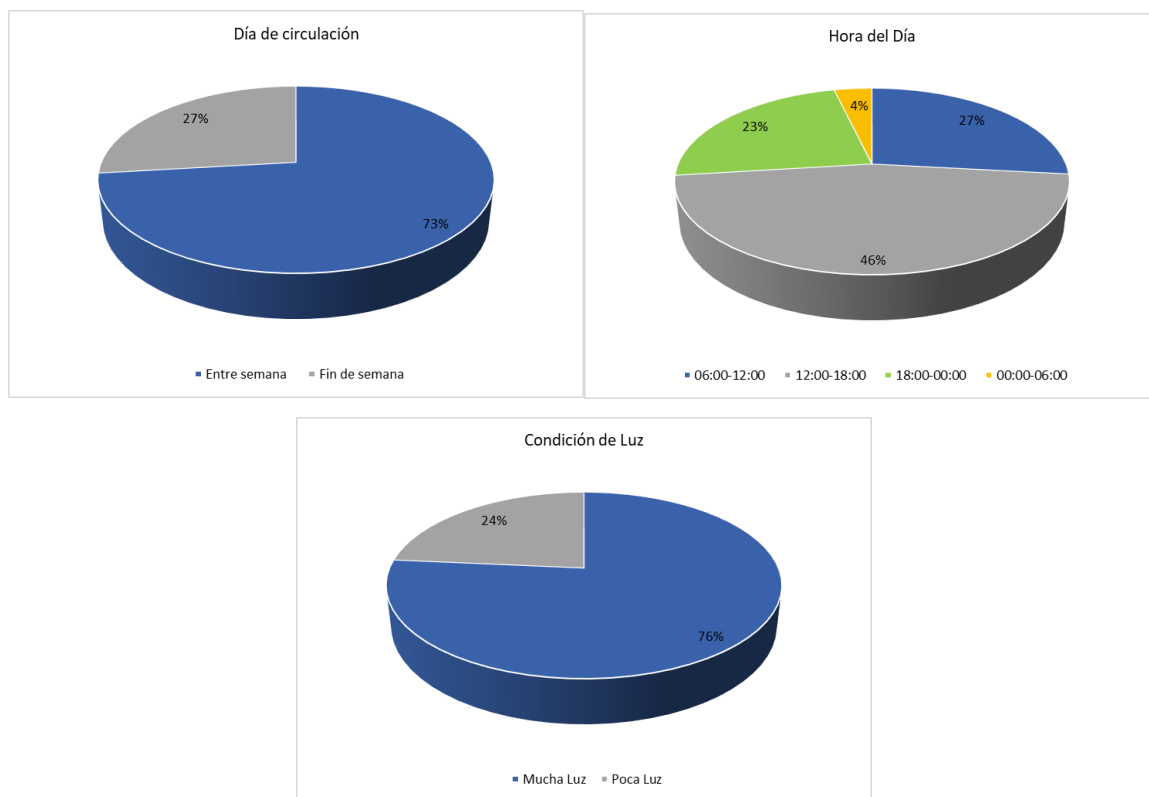


Figura 4-79. Porcentaje de vehículos que circulan entre semana o fin de semana; porcentaje de vehículos que circulan divididos en 4 rangos del día; porcentaje de vehículos que circulan en condición de mucha o poca luz. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”.

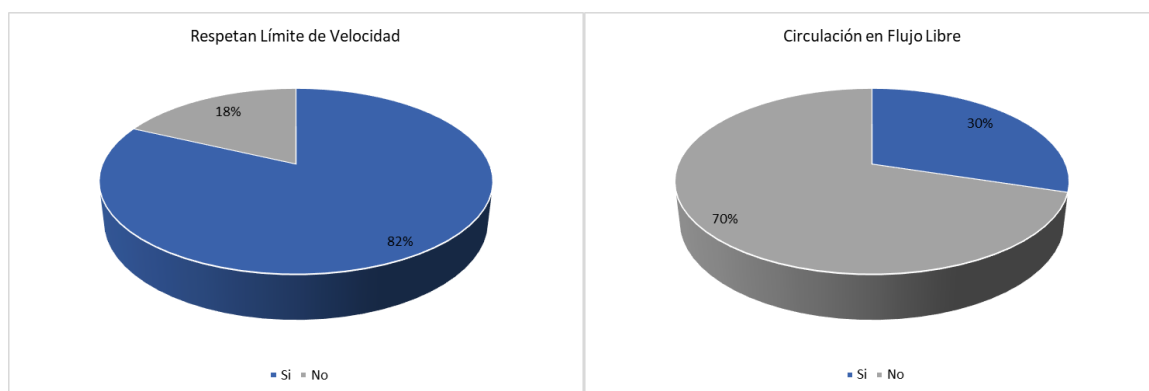


Figura 4-80. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 1.

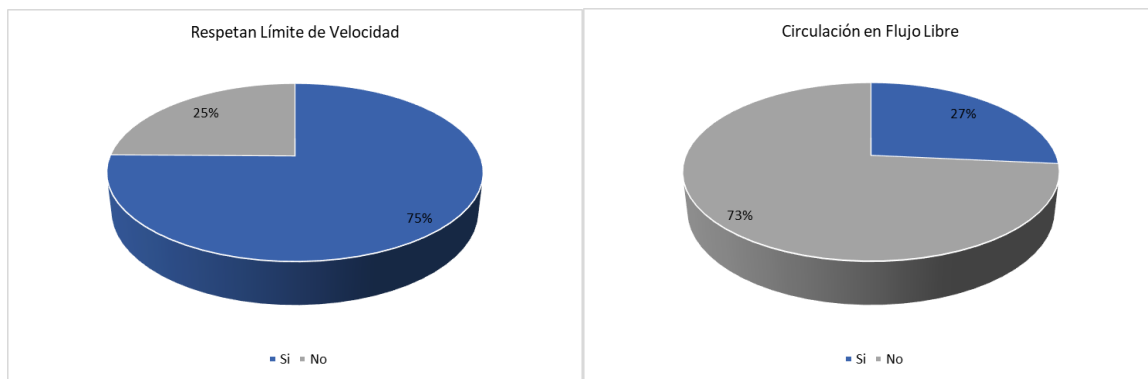


Figura 4-81. Porcentaje de vehículos que respetan el límite de velocidad; porcentaje de vehículos que circulan en condición de flujo libre. Carretera Uruapan - El Copetiro. Condición con marca "Rayas con Espaciamiento Logarítmico". Estación 2.

4.3 Factores asociados a la reducción de velocidad

El análisis con el método de Random Forest y Regresión Lasso se aplicó enfocado en el percentil 85 de la velocidad, comparando los escenarios 1 y 2 (sin marca en el pavimento y con la marca “Dientes de Dragón” respectivamente). Los datos de las 3 zonas fueron reunidos en una sola base de datos, para asegurar un análisis más completo de los efectos de la marca “Dientes de Dragón” a través de diferentes condiciones.

Para el análisis de Random Forest, primeramente, se preparan los datos, donde las categorías se convierten a valores numéricos. La base de datos se divide en características (X) y en la variable objetivo (percentil 85 de la velocidad). Se utilizó una validación cruzada para optimizar los hiperparámetros del modelo y evaluar su desempeño, con un ciclo que realiza una búsqueda en la base de datos para el ajuste de los hiperparámetros y un ciclo que evalúa la generalización del modelo.

La red de Random Forest explora parámetros tales como, el número de árboles, el número máximo de características consideradas, el mínimo de muestras requeridas para dividir un nodo, el mínimo de muestras requeridas para un nodo hoja y la máxima profundidad de la red de árboles.

Además, se calculó la importancia de las características de permutación mezclando cada característica para medir su impacto en la precisión del modelo, destacando las variables más críticas. Los resultados se documentaron, proporcionando información sobre

los factores que contribuyen a la eficacia de la marca “Dientes de Dragón” para reducir la velocidad de los usuarios.

Se utilizó la Ecuación (4.1) para calcular la importancia de las características de permutación; los puntajes de importancia más altos indican que la característica tiene un impacto más significativo en la predicción de la variable objetivo (reducir la velocidad).

$$Importancia = \frac{1}{n_{repeticiones}} \sum_{i=1}^{n_{repeticiones}} (resultado_{base} - resultado_{permutado}) \quad (4.1)$$

Donde:

Importancia: impacto promedio de permutar una variable en el rendimiento del modelo

$n_{repeticiones}$: número de veces que la permutación de la variable se repite para estimar la importancia de la misma

$resultado_{base}$: resultado del rendimiento del modelo con la variable original inalterada basado en la métrica R-cuadrada, y

$resultado_{permutado}$: resultado del rendimiento del modelo después de que la variable fue testeada basado en la métrica de R-cuadrada.

Complementando el análisis de Random Forest, se realizó un análisis de regresión Lasso, para identificar de igual manera las características con mayor influencia sobre la reducción de velocidad. La información fue preprocesada convirtiendo los resultados de las variables a variables numéricas. La base de datos fue dividida en conjuntos de entrenamiento y de prueba.

Se realizó una búsqueda para optimizar el parámetro α . El modelo fue entrenando utilizando el conjunto de entrenamiento y los coeficientes que tiene el mejor comportamiento con para identificar las variables clave. En la Figura 4-83 se resalta las predicciones más significativas en la reducción de velocidad, otorgando resultados de cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la efectividad de la marca “Dientes de Dragón”. La regresión Lasso se expresa minimizando la función objetivo como se observa en la Ecuación (4.2).

$$Min \left[\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (y_i - \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij})^2 + \alpha \sum_{j=1}^p |\beta_j| \right] \quad (4.2)$$

Donde:

n : número de observaciones
 p : número de variables o predictores en el modelo
 y_i : valor observado de la variable objetivo para la i -ésima observación
 x_{ij} : valor de la j -ésima variable para la i -ésima observación
 β_j : coeficiente de la j -ésima variable, representando su contribución al modelo, y
 α : parámetro de regularización que controla la penalización L_1 aplicada a los coeficientes, afectando el grado de contracción de esparsidad del modelo.

La Figura 4-82 y Figura 4-83 muestran el impacto de diferentes variables en la reducción de la velocidad con los dos distintos modelos mencionados (random forest y regresión Lasso). En la gráfica mostrada del lado izquierdo se observan la importancia de la variable de permutación, donde la tasa de flujo y la densidad emergen como las variables de mayor influencia, indicando que ambos factores afectan mayormente para la reducción de la velocidad. De igual manera se destaca que aquellos que no respetan el límite de velocidad tienen mayor influencia de la marca para reducir su velocidad, lo que significa que aquellas zonas donde hay mayor incidencia en el límite de velocidad se benefician de la intervención de la marca “Dientes de Dragón”. En la gráfica del lado derecho la regresión Lasso demuestra que los coeficientes de la tasa de flujo y la densidad son los más significativos en la variable objetivo (reducción de velocidad) permaneciendo distintos de cero aún en los valores más altos de α .

La resiliencia subraya el gran poder deductivo en el modelo. Por el contrario, los coeficientes del día de la semana y la hora del día tienden a reducirse a cero, lo que significa que tiene menor impacto en la reducción de la velocidad.

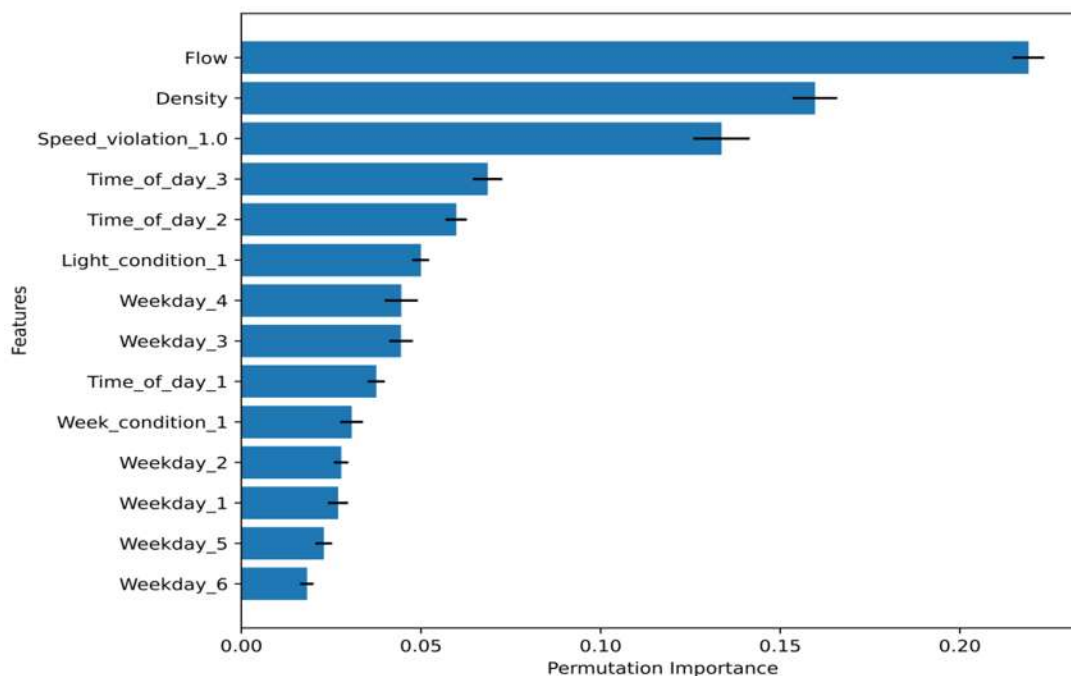


Figura 4-82. Importancia de las variables en la reducción de velocidad a través del modelo Random Forest

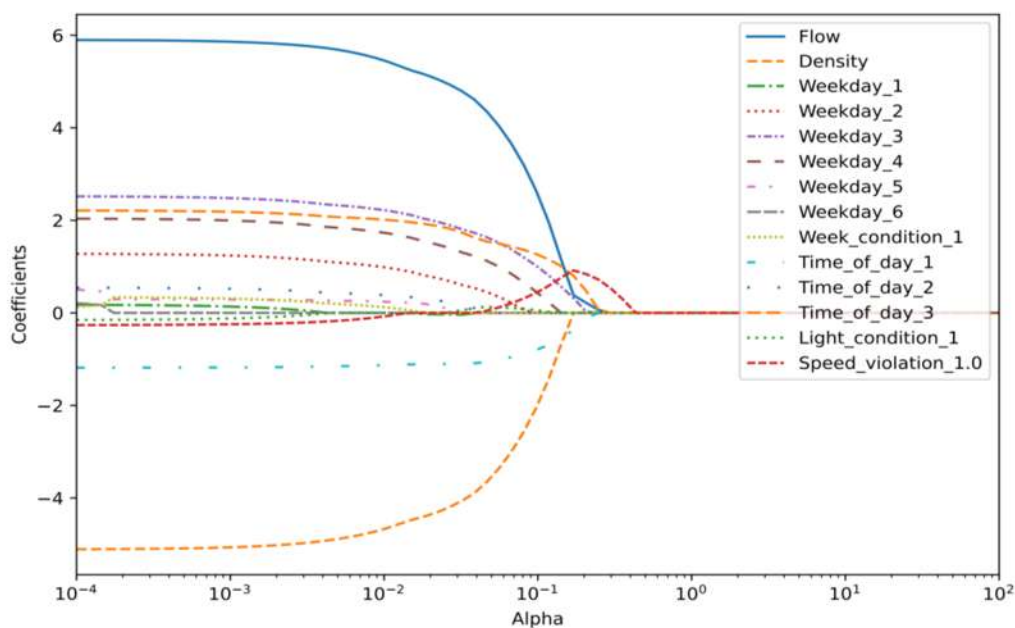


Figura 4-83. Variables de mayor influencia de acuerdo con su coeficiente de la regresión Lasso (derecha).

4.4 Niveles de percepción y entendimiento

De la encuesta realizada a los usuarios se muestra a continuación una serie de gráficas en las cuales se resumen las respuestas de los usuarios, se agrupan por la carretera donde se realizó la encuesta.

Cabe resaltar que, en el caso de las preguntas número 2 y número 3 solo se realizaron a los usuarios que contestaron que SI observaron la marca en la primera pregunta. La encuesta se realizó a un total de 342 usuarios, las respuestas a la encuesta se presentan en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Resultados de encuesta aplicada a usuarios en las tres zonas de estudio.

Zona	Obsrv		Rsp					Prcp				G		E			Tv		Lic	
	S	N	Dsm	Dtm	Cc	Pa	Na	Al	Mod	Po	Nd	M	F	J	Adl	Ma	Li	Ca	Pt	Cmc
Z1	72	63	44	1	1	12	14	27	22	18	5	126	8	27	59	48	97	37	107	27
Z2	63	76	39	3	2	11	8	38	14	8	3	130	10	14	71	55	96	44	123	17
Z3	44	24	29	0	0	7	8	14	13	14	3	62	6	11	35	22	48	20	58	10
Σ	179	163	112	4	3	30	30	79	49	40	11	318	24	52	165	125	241	101	288	54

Note: Obsrv=observó la marca; Rsp=respuesta del usuario; Prp=percepción de seguridad; G=genero; E=edad; Tv=tipo de vehículo; Lic=tipo de licencia; S=si; N=no; Dsm=disminuir velocidad; Dtm=detenerme; Cc=cambiar de carril; Pa=prestar atención; Na=ninguna; Al=alto; Mod=moderado; Po=poco; M=masculino; F=femenino; J=joven; Adl=adulto; Ma=adulto mayor; Li=vehículo de pasajero; Ca=vehículo de carga; Pt=particular; Cmc=comercial.

La Tabla 4-1 nos arroja como resultados que, de los 342 usuarios encuestados, el 52% notó la nueva marca sobre el pavimento, lo que demuestra un nivel moderado de observación de la marca. La respuesta de los usuarios a la marca nos dice que el 62% de los usuarios disminuyeron la velocidad al observar la marca, un 17% aumentaron su atención, mientras que el 2% intentaron cambiar de carril, otro 2% intentó detenerse y un 17% no tuvo ninguna reacción, estos resultados nos dicen que un 79% de los usuarios tuvieron una respuesta positiva a la marca (62% disminuyeron velocidad y 17% aumentaron su atención), resaltando que es la reacción que busca causar la marca “Dientes de Dragón” sobre los usuarios. En la percepción de seguridad que los usuarios tienen de la marca un 44% comentaron que creen que la marca tenga un alto desempeño en mejorar la seguridad vial, mientras que un 27% comentaron que piensan tiene un impacto moderado, dando que un total de 71% de los usuarios tienen la percepción de que la marca “Dientes

de Dragón” puede contribuir de manera positiva a la seguridad vial. En las Figura 4-83, Figura 4-84 y Figura 4-85 se muestran las gráficas con los resultados de la encuesta.

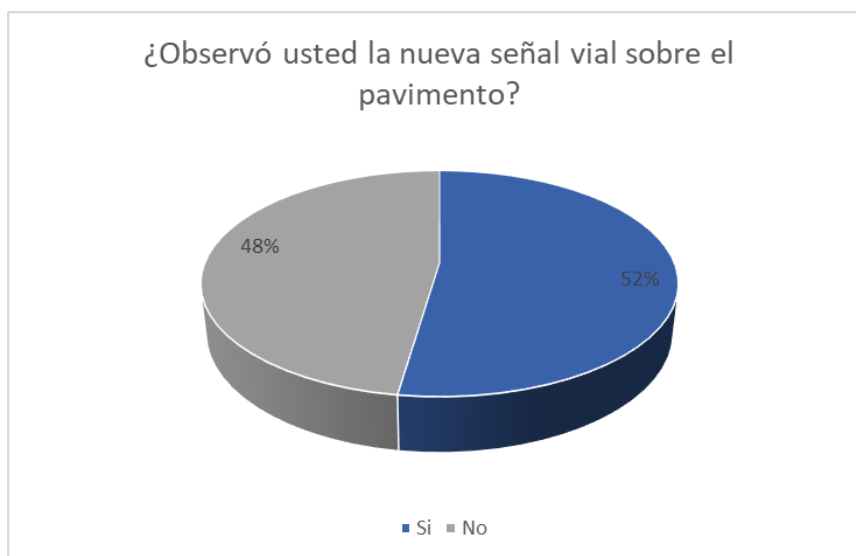


Figura 4-84. Respuesta de los usuarios a si observaron la marca "Dientes de Dragón" sobre el pavimento. Fuente propia.

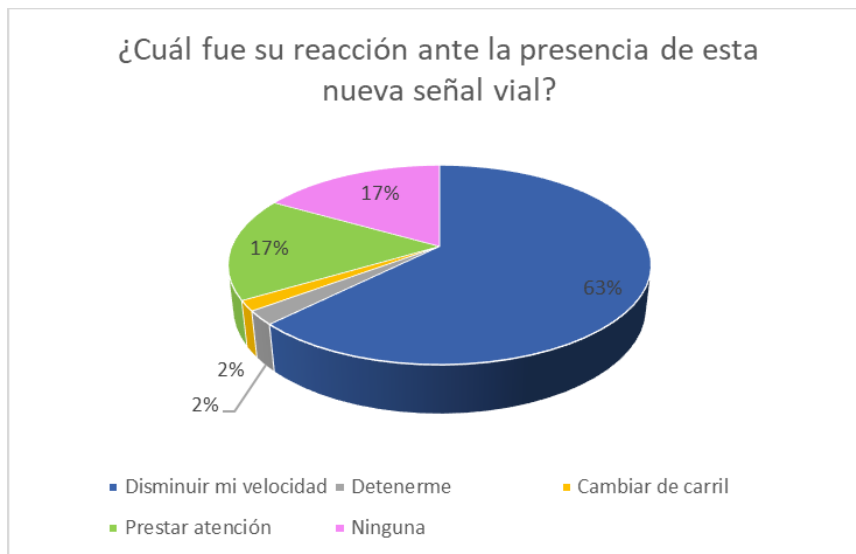


Figura 4-85. Reacción de los usuarios a la marca "Dientes de Dragón". Fuente propia.

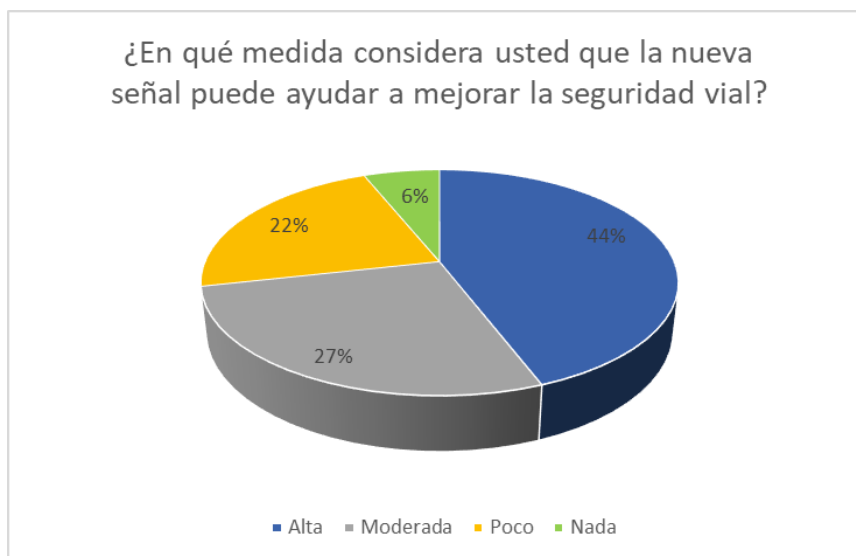


Figura 4-86. Percepción de seguridad vial de los usuarios con la marca "Dientes de Dragón". Fuente propia.

4.5 Análisis comparativo del desempeño de la marca vial "Dientes de Dragón" contra la condición sin marca y la condición tradicional de "Rayas con Espaciamento Logarítmico".

Para realizar el análisis comparativo entre los escenarios, se hizo la dividió la hipótesis en dos partes. Primeramente, se comparará el escenario de la condición sin marca en el pavimento contra la marca "Dientes de Dragón" y en segunda instancia se va a comparar la marca "Dientes de Dragón" contra la marca tradicional de "Rayas con Espaciamento Logarítmico".

El análisis inicial será de manera gráfica, donde se mostrará la probabilidad acumulada de cada velocidad analizada (media, percentil 85, percentil 98 y máxima). Se mostrarán las gráficas en cada zona (ambas estaciones) y de ambas partes de la hipótesis (sin marca vs "Dientes de Dragón" y "Dientes de Dragón" vs "Rayas con Espaciamento Logarítmico").

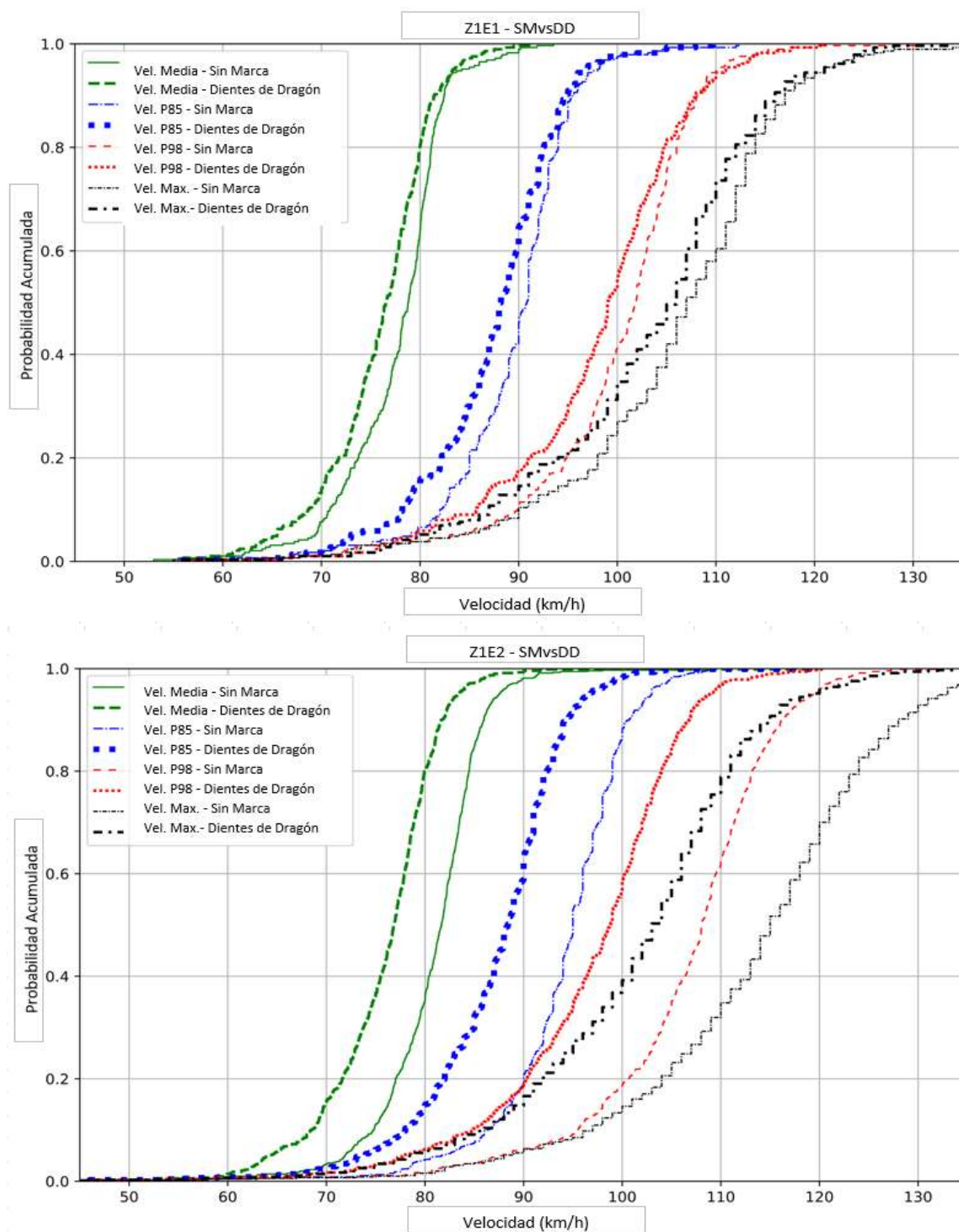


Figura 4-87. Distribución acumulada de velocidades, comparativa sin marca vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Fuente propia.

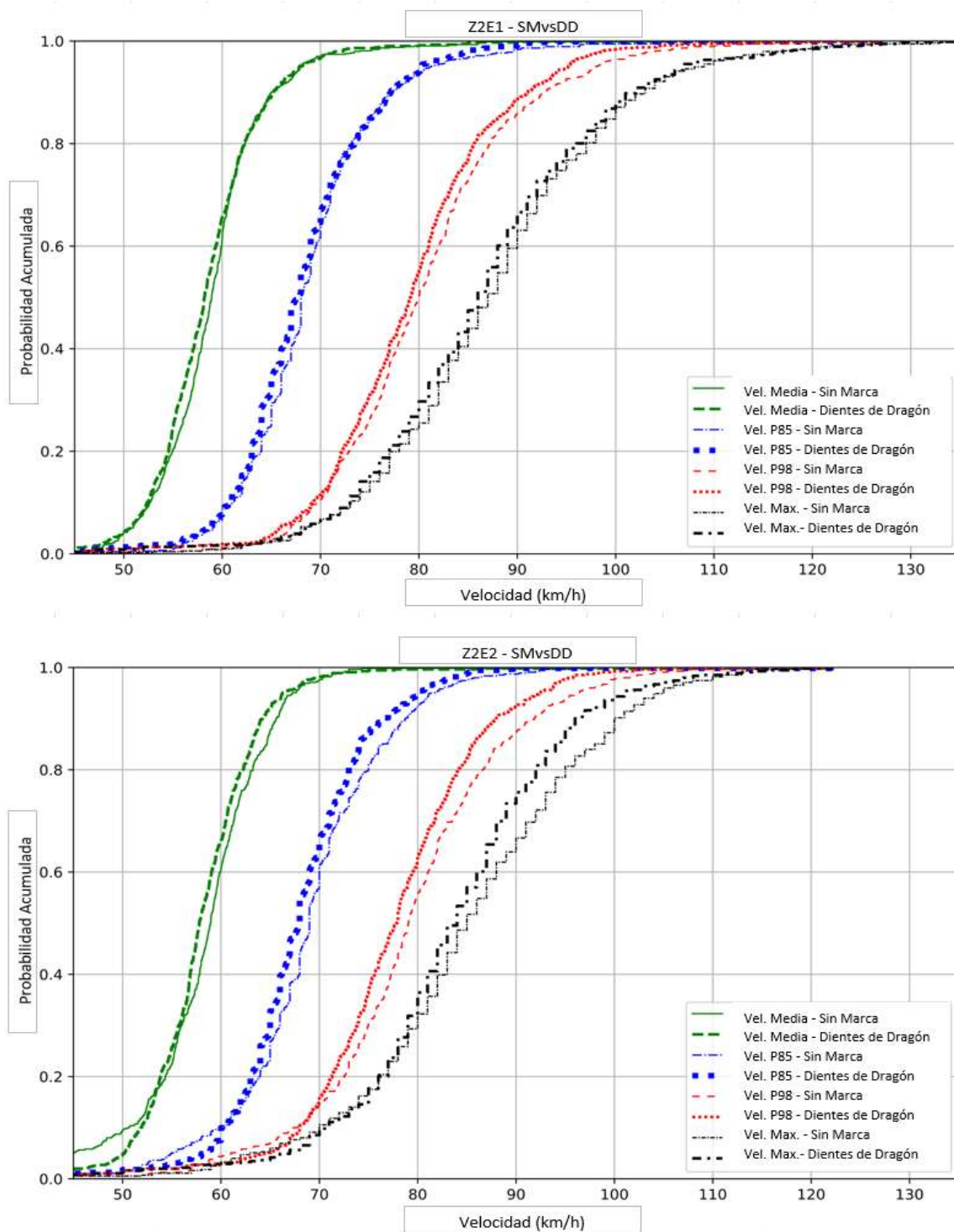


Figura 4-88. Distribución acumulada de velocidades, comparativa sin marca vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan libre de cuota. Fuente propia.

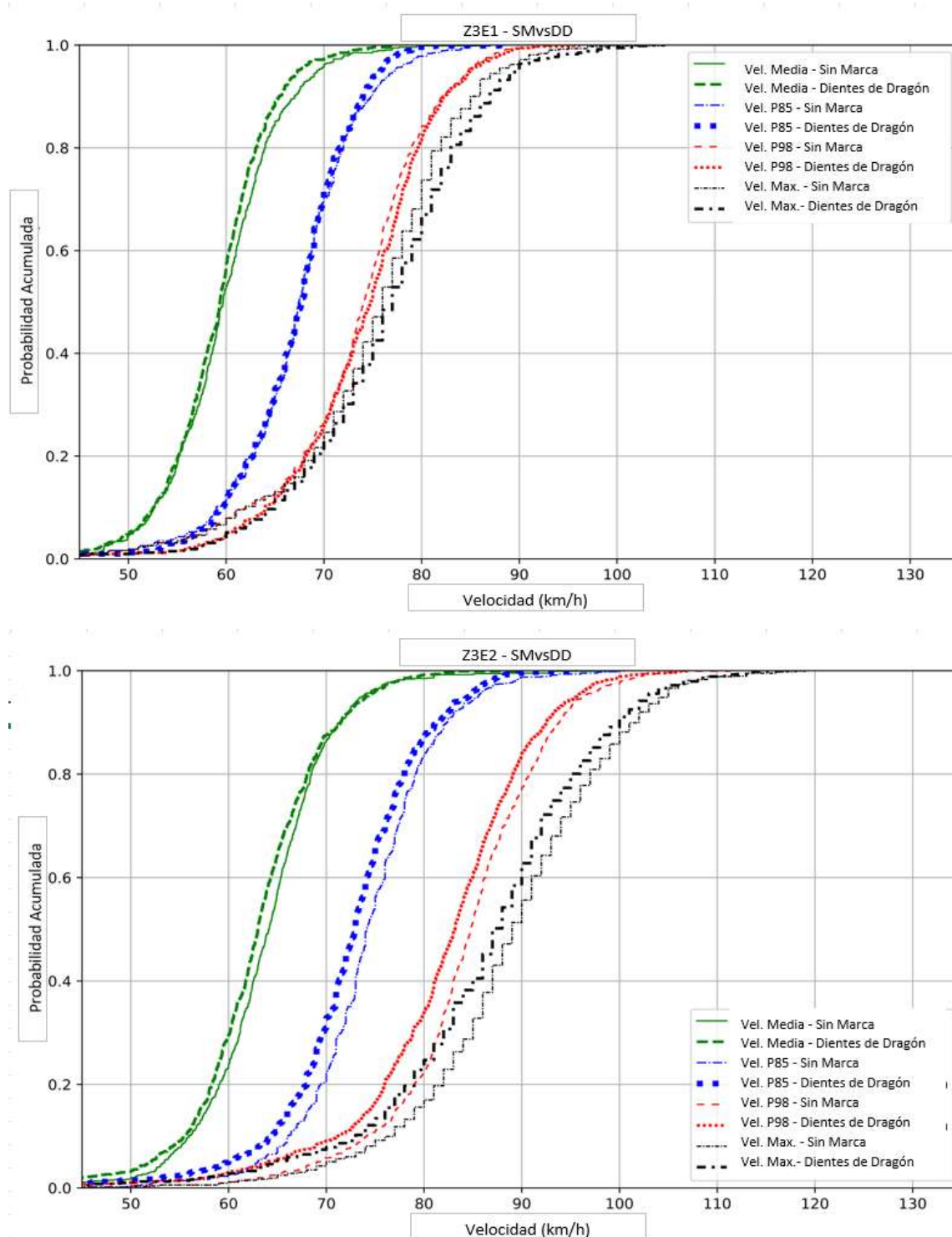


Figura 4-89. Distribución acumulada de velocidades, comparativa sin marca vs "Dientes de Dragón, Carretera Uruapan - El Copetiro. Fuente propia.

En las Figura 4-87, Figura 4-88 y Figura 4-89 se puede observar que en las tres zonas hubo una reducción de velocidad mayor en la estación 2 (aguas debajo de la marca a una distancia aproximada de un carril de desaceleración), comparando el comportamiento de la marca “Dientes de Dragón” contra el escenario sin marca. Observándose las mayores reducciones en la velocidad máxima y en el percentil 98, esto nos indica que la marca es mayormente efectiva en los usuarios que conducen a las velocidades más altas registradas.

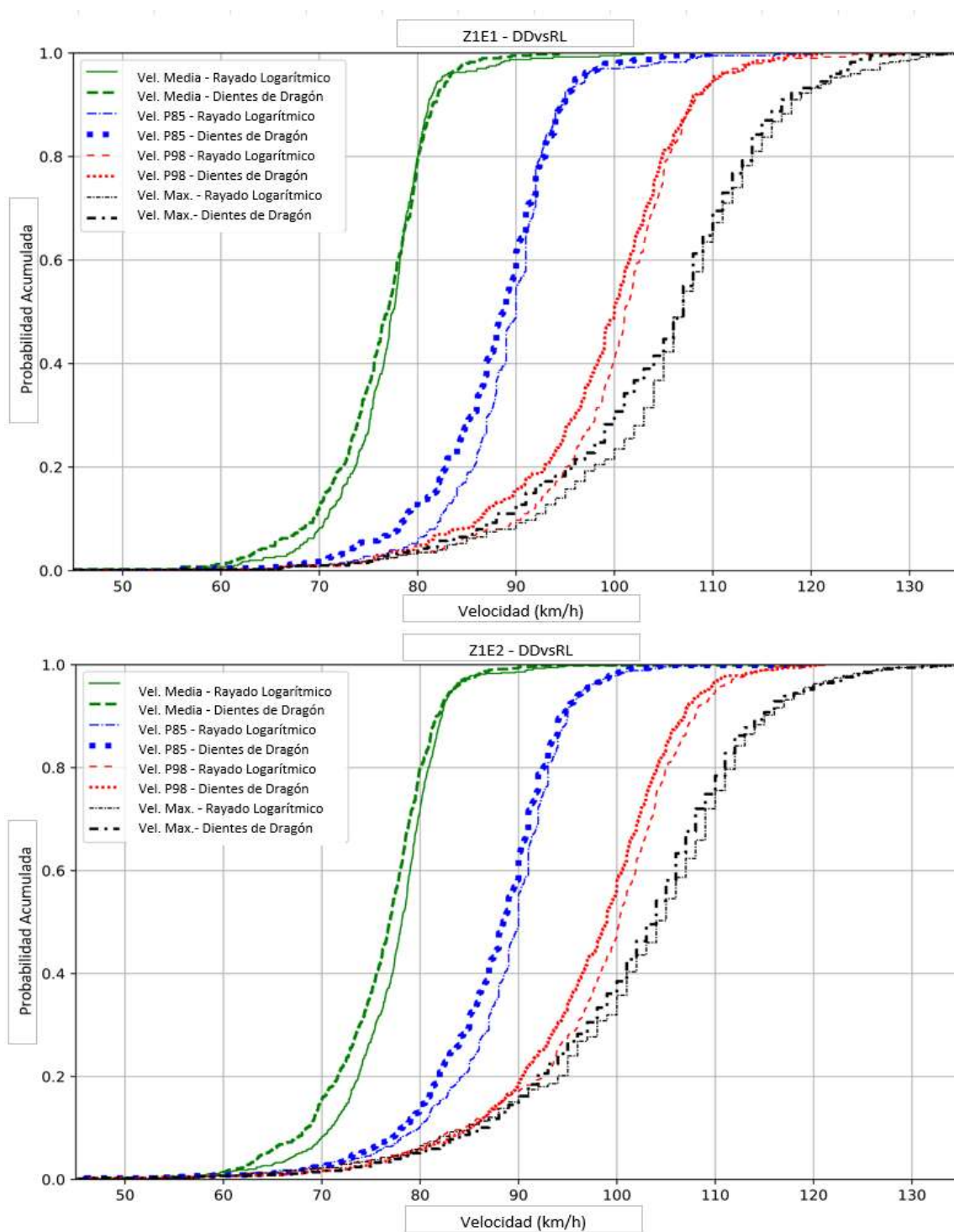


Figura 4-90. Distribución acumulada de velocidades, comparativa "Rayas con Espaciamiento Logarítmico" vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, Tramo Carapan – Uruapan. Fuente propia.

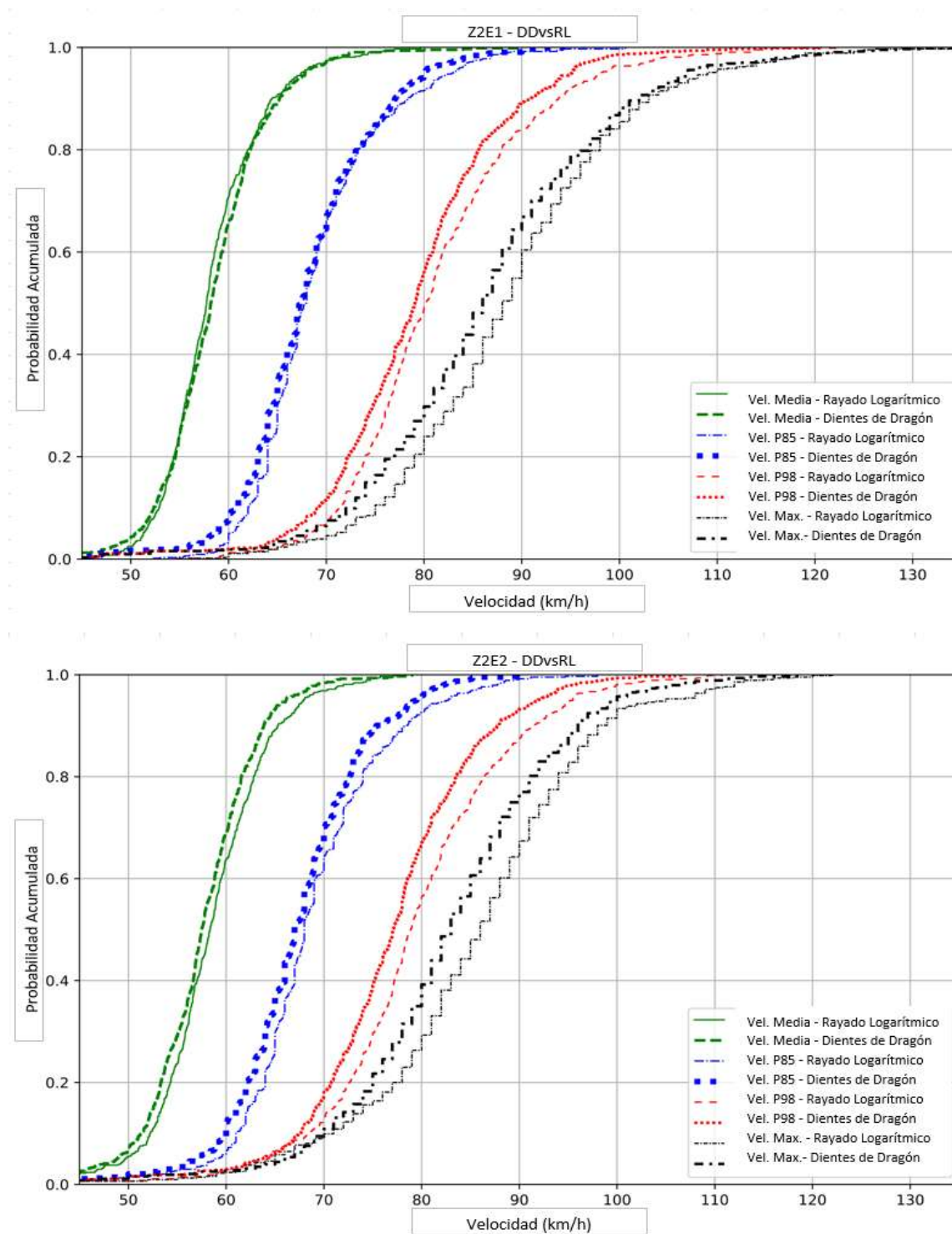


Figura 4-91. Distribución acumulada de velocidades, comparativa "Rayas con Espaciamiento Logarítmico" vs "Dientes de Dragón, Carretera MEX-014 Pátzcuaro - Uruapan libre de cuota. Fuente propia.

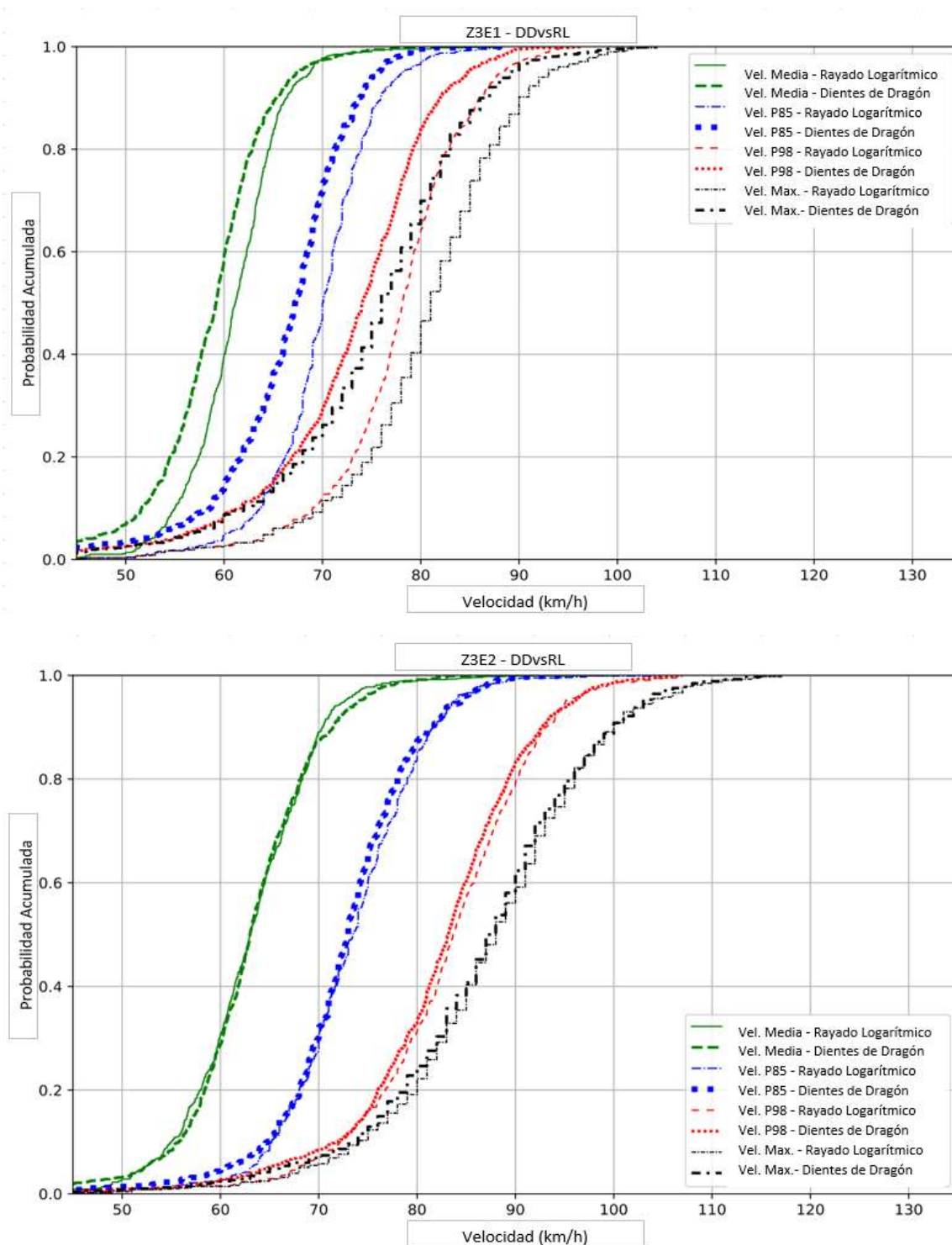


Figura 4-92. Distribución acumulada de velocidades, comparativa "Rayas con Espaciamiento Logarítmico" vs "Dientes de Dragón, Carretera Uruapan - El Copetiro. Fuente propia.

En las Figura 4-90, Figura 4-91 y Figura 4-92 podemos observar que la marca “Dientes de Dragón” es el escenario que registra las velocidades más bajas, observando de nueva cuenta las mayores reducciones en la velocidad máxima y el percentil 98, rectificando que la marca “Dientes de Dragón” tiene mayor efectividad en los usuarios que conducen a las mayores velocidades.

Tomando en cuentas ambas comparativas (sin marca vs “Dientes de Dragón” y “Dientes de Dragón” vs “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”), que son las hipótesis presentadas al inicio de la investigación, en el primer análisis gráficos de resultados se puede decir que en ambos caso la marca “Dientes de Dragón” tiene un mejor comportamiento en cuanto a las velocidades más bajas registradas, por lo que inicialmente las hipótesis propuestas parecen ser correctas, esto se rectificará con un análisis de pruebas t pareadas.

En segunda instancia, se realizó la comparativa de los resultados a través de una prueba T de muestras pareadas. Como ya se mencionó en el Capítulo 2, la prueba T compara las medias de dos variables. Se calculan las diferencias entre los dos valores y se contrasta la diferencia (IBM, 2021).

Dentro de la comparativa realizada a través de la prueba t pareada, se denota en la Tabla 4-2 el promedio de la velocidad (Prom) (media, percentil 85, percentil 98 y máxima) para cada escenario, dividido por zonas (en cada zona se presentan ambas estaciones), la desviación estándar (DE), el diferencial de la velocidad (ΔS) (positivo significa menor velocidad registrada con la marca “Dientes de Dragón”, positiva significa menor velocidad registrada con el escenario sin marca o con la marca de “Rayas con Espaciamiento Logarítmico” según aplique), el número de muestras (n) (se tomaron los valores al nivel de agregación de 15 minutos), el valor t (t_{stat}) (que se calcula dividiendo la diferencia medida por la dispersión en los datos de la muestra (DATAtab Team, 2024)) y el valor p (p_{value}) (valor de significancia, que si es menor al 5% se considera que la muestra está dentro de los parámetros aceptados).

Tabla 4-2. Estadística descriptiva y análisis de la velocidad de la prueba t pareada entre los distintos escenarios para cada zona de estudio. Fuente Propia

Zona	Estadístico	Sin Marca vs Dientes de Dragón								Rayado Logarítmico vs Dientes de Dragón							
		Vmed		V85th		V98th		Vmax		Vmed		V85th		V98th		Vmax	
		SM	DD	SM	DD	SM	DD	SM	DD	RL	DD	RL	DD	RL	DD	RL	DD
ZIP1	Prom (km/h)	77.7	75.8	89.5	87.4	99.9	97.9	105.6	103.2	76.8	76	89.1	87.7	99.9	98.4	105.8	104.4
	DE (km/h)	5.4	5.6	6.7	7.2	8.9	9.5	11.8	11.9	5.3	5.6	6.4	6.9	8.7	9.1	11.6	11.7
	ΔS	1.9		2		2		2.4		0.8		1.5		1.5		1.4	
	n	288		288		288		288		400		400		400		400	
	t _{stat}	4.56		3.91		2.91		3.04		2.16		3.31		2.61		2.11	
	p-value	≈0		≈0		0.003		0.003		0.031		0.001		0.009		0.035	
ZIP2	Prom (km/h)	80.8	75.8	94	87.1	106.5	96.8	113.5	101.5	77.2	75.8	88.3	87.2	98	96.9	102.2	101.6
	DE (km/h)	5.6	6.1	7	7.5	9.9	9.8	13.4	12.3	5.4	6.1	7.2	7.5	10.1	9.7	12.6	12.2
	ΔS	5		7		9.7		12		1.4		1.1		1		0.6	
	n	704		704		704		704		704		704		704		704	
	t _{stat}	17.25		19.93		22.24		22.93		4.98		3.39		2.49		1.14	
	p-value	≈0		≈0		≈0		≈0		≈0		≈0		0.013		0.25	
ZZP1	Prom (km/h)	59.1	58.6	68.9	68.2	80.6	79.3	87.6	86.6	58.3	58.5	69.1	68.1	81.4	79.2	88.8	86.5
	DE (km/h)	6	6.4	7.5	7.6	9.8	9.6	12.3	12.8	5.1	5.7	6.7	7.1	9.4	9.4	11.9	12.8
	ΔS	0.5		0.8		1.3		1		-0.2		1		2.2		2.3	
	n	737		737		737		737		634		634		634		634	
	t _{stat}	1.69		2.26		2.97		1.64		-0.63		3.12		4.76		3.75	
	p-value	0.091		0.024		0.003		0.102		0.528		0.002		≈0		≈0	
ZZP2	Prom (km/h)	58.3	58.1	69	68	79.2	77.6	85.3	83.7	58.5	57.5	68.8	67.3	79.3	77	85.4	82.8
	DE (km/h)	6.7	6.1	8	7.4	10.1	9.2	12.2	11.4	5.9	5.9	7.6	7.3	9.8	9.3	11.9	11.4
	ΔS	0.2		0.9		1.6		1.6		1		1.6		2.4		2.6	
	n	549		549		549		549		635		635		635		635	
	t _{stat}	0.61		2.5		3.28		2.49		3.51		4.44		4.98		4.5	
	p-value	0.544		0.013		0.001		0.013		≈0		≈0		≈0		≈0	
Z3P1	Prom (km/h)	59.8	59	67.2	66.9	73.1	73.8	75	76.3	61	58.5	69.9	66.1	77.6	72.7	80.5	75.1
	DE (km/h)	5.8	5.7	6.5	6.3	8.1	8	9.2	9.4	4.9	6.6	5.6	7.3	7.3	9	8.8	10.3
	ΔS	0.8		0.3		-0.6		-1.3		2.5		3.7		4.9		5.4	
	n	743		743		743		743		888		888		888		888	
	t _{stat}	2.95		0.88		-1.83		-3.26		9.78		12.71		14.33		14.3	
	p-value	0.003		0.378		0.067		0.001		≈0		≈0		≈0		≈0	
Z3P2	Prom (km/h)	63.9	62.8	74.2	72.5	84.3	82	88.9	86.4	63	63	73.4	72.6	83.1	82.2	87.4	86.7
	DE (km/h)	6.7	7.2	7	7.8	8.2	9.7	10.2	11.7	6.6	7.2	6.9	7.7	8.8	9.6	10.7	11.5
	ΔS	1.1		1.8		2.3		2.4		0		0.8		0.9		0.8	
	n	1064		1064		1064		1064		982		982		982		982	
	t _{stat}	3.64		6.26		6.69		6.05		-0.01		2.71		2.31		1.75	
	p-value	≈0		≈0		≈0		≈0		0.992		0.007		0.021		0.08	

En la Tabla 4-2 se puede denotar que de un total de 48 comparativas realizadas 40 de los casos se tiene un valor p menor al 5%, por lo tanto, el 83% de los casos se encuentran dentro de un valor de significancia aceptado. También, de las 48 comparativas se observó que únicamente en 3 estaciones se tuvieron resultados del diferencial de velocidad negativos, en 1 caso se tuvo un diferencial igual a 0, lo que significa que en 44 de las estaciones medidas (92%) la marca “Dientes de Dragón tuvo un mejor desempeño respecto a los otros dos escenarios (sin marca y con la marca “Rayas con Espaciamento Logarítmico”).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La presente investigación evaluó la efectividad de dos marcas viales, "Dientes de Dragón" (explorada) y "Rayas con Espaciamiento Logarítmico" (tradicional), en la reducción de la velocidad vehicular en zonas de transición de alta a baja velocidad, particularmente en tramos de carretera rural que se conectan con áreas urbanas. Se incluyó un escenario de referencia sin ninguna marca vial, permitiendo así una comparación justa entre las distintas condiciones. Adicionalmente, se identificaron factores clave que influyen en la reducción de velocidad y se analizó el nivel de percepción y comprensión que tienen los usuarios sobre la marca "Dientes de Dragón".

A diferencia de otras normativas internacionales de señalamiento vial que consideran varios tipos de disipadores de tráfico, la normativa mexicana vigente (NOM-034-SCT2/SEDATU-2022) únicamente incluye como disipador de tráfico no físico las "Rayas con Espaciamiento Logarítmico", con un diseño enfocado especialmente para carreteras rurales. Esta señalización, con una longitud que varía entre 91.95 y 334.80 metros, se utiliza de manera generalizada y multipropósito para gestionar la seguridad vial en la mayoría de los puntos de riesgo de la red vial, aun cuando presenta limitaciones para su implementación en entornos urbanos debido al espacio requerido. La falta de adaptabilidad a contextos urbanos evidencia una carencia de investigación sobre señalización vial en México, lo que realza la importancia de estudios como el presente, orientados a ampliar las opciones de señalización en el país y a mejorar la seguridad en zonas urbanas de transición.

El exceso de velocidad continúa siendo uno de los principales factores de accidentes viales en México, lo que refleja, en parte, una falta de conciencia entre los usuarios. En el escenario sin marca vial, la zona 1 (Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, tramo Carapan – Uruapan) registró velocidades superiores a 140 km/h en un tramo con límite de 70 km/h, con el 82% de los conductores excediendo dicho límite. Este comportamiento puede atribuirse tanto a la ausencia de señalización que advierta sobre la proximidad a una zona urbana como a la falta de limitantes físicas en el camino. En

contraste, en las zonas 2 y 3, donde la geometría del camino restringe naturalmente la velocidad, las velocidades se mantuvieron más cercanas al límite establecido, con el 87% y el 80% de los conductores respetándolo, respectivamente.

Para identificar los factores que inciden en la reducción de velocidad ocasionada por la implementación de la marca vial “Dientes de Dragón”, se aplicaron análisis de Random Forest y regresión Lasso. Los resultados de estos análisis indican que la tasa de flujo y la densidad vehicular son los factores que más influyen en la efectividad de la marca “Dientes de Dragón” para reducir la velocidad. Estas condiciones incrementan la atención de los usuarios al existir mayor presencia de vehículos, lo cual induce una conducción más cautelosa. Asimismo, se observó que los conductores que suelen exceder los límites de velocidad reaccionan favorablemente ante la marca “Dientes de Dragón”, disminuyendo su velocidad. Esto sugiere que la marca tiene el potencial de reducir velocidades especialmente en conductores que habitualmente no respetan los límites.

En cuanto a la percepción de los usuarios, el 52% de los encuestados notaron la marca “Dientes de Dragón” en el pavimento, y de estos, el 80% manifestó una reacción positiva, reportando una reducción en la velocidad y un aumento en la atención al entorno. Esto sugiere que la marca es entendida y percibida positivamente por los usuarios. No obstante, el 48% de los encuestados indicó no haber identificado la marca, lo cual evidencia un alto grado de desatención hacia la señalización vial. Este hallazgo subraya la necesidad de fortalecer la educación vial en México y de explorar combinaciones de señalización que alerten a los usuarios sobre las características del tramo.

Al comparar los escenarios, la marca “Dientes de Dragón” resultó ser la más efectiva en la reducción de velocidad, mostrando las velocidades más bajas en todas las zonas evaluadas. Las figuras 4-87 a 4-92 ilustran que en el escenario con “Dientes de Dragón” las velocidades son consistentemente menores en todos los percentiles analizados. Este efecto fue particularmente notable en la Carretera MEX-037 Carapan – Playa Azul, tramo Carapan – Uruapan, la cual también presentó las velocidades más altas en el escenario sin marca.

Cabe destacar que ambas marcas (“Dientes de Dragón” y “Rayas con Espaciamiento Logarítmico”) se mantuvieron colocadas en los sitios de estudio durante aproximadamente tres meses. No obstante, estudios a largo plazo permitirían evaluar si la

reducción de velocidad se mantiene o si los conductores se desensibilizan con el tiempo, lo que podría afectar la eficacia de estas marcas de control. En la literatura se encontró únicamente un estudio realizado en Inglaterra que evaluó el desempeño de la marca vial “Dientes de Dragón” después de un año de su implementación, concluyendo que las reducciones de velocidad fueron sostenidas en el tiempo con diferencias despreciables (Department for Transport, 2000).

Los resultados de esta investigación deben interpretarse en el contexto específico de una ciudad de tamaño medio como Uruapan, México, una ciudad de aproximadamente 300,000 habitantes con una economía principalmente agrícola. Esta especificidad puede limitar la aplicabilidad de los hallazgos a otros contextos urbanos, por lo que se recomienda cautela al extrapolar estos resultados sin investigaciones complementarias en áreas con diferentes condiciones. Sin embargo, la evidencia obtenida sugiere que la marca “Dientes de Dragón” tiene el potencial de mejorar la seguridad vial en zonas de transición en México y subraya la necesidad de diversificar las opciones de señalización en la normativa nacional, adaptándolas a las particularidades de la infraestructura vial del país.

5.2 Recomendaciones y trabajos futuros

Las recomendaciones derivadas de esta investigación sugieren ampliar su alcance mediante estudios que aborden diversos contextos viales y territoriales. Se recomienda realizar estudios adicionales en ciudades con características y patrones de tráfico distintos, para obtener una evaluación más extensa del comportamiento de la marca vial “Dientes de Dragón”. Esto permitiría identificar los contextos específicos donde esta señalización es más efectiva y adaptar su diseño a distintas condiciones viales. Con una base de evidencia más amplia y representativa, se podrían plantear argumentos sólidos para incluir la marca “Dientes de Dragón” en la normativa mexicana de señalización vial.

Una dirección adicional para futuros trabajos es evaluar el desempeño de la marca “Dientes de Dragón” en carreteras o autopistas multicarril, ya que la presente investigación se limitó a tramos de un solo carril por sentido. Este análisis permitiría determinar si su efectividad se mantiene o varía en entornos de mayor flujo vehicular y velocidad, contribuyendo así a su adaptación en infraestructuras más complejas. También se sugiere explorar configuraciones de la marca que extiendan su longitud en vías de alta velocidad,

lo cual podría mejorar su visibilidad y efecto sobre la reducción de velocidad. Adicionalmente, podría estudiarse la implementación de la marca en combinación con otros elementos de señalización vial, como paneles informativos o señalización vertical, para fortalecer su impacto en la percepción del conductor y promover un entorno vial más seguro.

REFERENCIAS

- Akbari, A., & Haghighi, F. (2019). Traffic Calming Measures: An evaluation of four low cost TCMs' Effect on Driving Speed and Lateral Distance. *IATSS Research*.
- Babic, D., Fiolic, M., Babic, D., & Gates, T. (2020). Road Markings and Their Impact on Driver Behaviour and Road Safety: A Systematic Review of Current Findings. *Journal of Advances Transportation*, 19.
- Barrantes, J. M. (2017). Guía para la Determinación de la Condición en Puentes Mediante Inspección Visual. *Congreso Estructuras 2017 y XIV Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica*, (pág. 14). San José, Costa Rica.
- Bunting, G. (2020). Land Transport Rule: Traffic Control Devices 2004 Dragons Teeth Road Markings. *New Zealand Gazette*.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingenieria de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*. Distrito Federal.
- CANACAR. (13 de Junio de 2015). *Clasificación de Carreteras*. Obtenido de CANACAR: <https://canacar.com.mx/app/uploads/2016/02/LISTA-de-CLASIFICACION-DE-CARRETERA-2015-I-1.pdf>
- Casanova, W., Gómez, N., Sarmiento, I., Abarca, E., & Mendoza, A. (Mayo de 2021). Obtenido de Instituto Mexicano del Transporte: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=534&IdBoletin=192>
- Charlton , S. G., & Baas, P. H. (2006). Speed Change Management for New Zealand Roads. *Land Transport New Zealand Research Report 300.*, 144.
- Congreso de la Unión. (29 de 12 de 2023). Ley General de Movilidad y Seguridad Vial. *Diario Oficial de la Federación*.
- DATAtab Team. (2024). *Prueba T de una muestra*. Obtenido de DATAtab: <https://datatab.es/tutorial/one-sample-t-test>
- Departament for Transport. (2007). *Traffic Calming*. Londres: The Starionery Office.
- Department for Transport. (2000). Traffic Calming in Villages on Major Roads. *Traffic Advisory Leaflet*, 9.
- Department Of Transport. (2022). *The City of New York*. Obtenido de Departmen Of Transport: <https://www.nycstreetdesign.info/geometry/chicane>

- Dirección General de Servicios Técnicos. (2014). *Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad*. Ciudad de México: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- Dirección General de Servicios Técnicos. (2024). *Manual de Señalización y Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras*. Ciudad de México: Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
- Dirección Regional de Comunicaciones y Transportes. (2023). *Dirección Regional de Comunicaciones y Transportes*. Obtenido de http://drtcsanmartin.gob.pe/documentos/manual_conductor/Definiciones.pdf
- Fernández Fernández, S., Cordero Sánchez, J. M., & Córdoba Largo, A. (2002). *Estadística Descriptiva*. Madrid: ESIC.
- Forbes Staff. (29 de Agosto de 2019). *Forbes*. Obtenido de Forbes México: <https://www.forbes.com.mx/estos-son-los-limites-de-velocidad-que-debes-respetar-segun-la-zona-que-conduces/>
- Forbes, G. J. (2011). *Speed Recustion Techniques for Rural High-to-Low Speed Transitions*. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Galante, F., Mauriello, F., Perneti, M., Riccardi, M. R., & Montella, A. (2021). Effects of Traffic Control Devices on Rural Curve Lateral Position. *Transportation Research Board*.
- Houston Radar. (27 de Julio de 2023). *Houston Radar*. Obtenido de <https://houston-radar.com/products/radar-data-collectors/armadillo-tracker-traffic-data-collector/>
- IBM. (2021). *Prueba T de muestras emparejadas*. Obtenido de IBM Web Site: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=tests-paired-samples-t-test>
- IBM. (2022). *Regresión Lineal de Lasso*. Obtenido de IBM Web Site: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/29.0.0?topic=features-linear-lasso-regression>
- IBM. (2024). *¿Qué es el random forest?* Obtenido de IBM Web Site: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/random-forest#:~:text=El%20random%20forest%20es%20un,problemas%20de%20clasificaci%C3%B3n%20y%20regresi%C3%B3n.>

- IBM. (18 de Enero de 2024). *¿Qué es la regresión Lasso?* Obtenido de IBM Web Site:
https://www.ibm.com/topics/lasso-regression?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=lasso
- IMT. (2022). *Instituto Mexicano del Transporte*. Obtenido de Red Nacional de Caminos :
<http://rnc.imt.mx/>
- INEGI. (Junio de 2023). *INEGI*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>
- INEGI. (16 de Noviembre de 2023). *INEGI - Programas de Información*. Obtenido de
 Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas:
https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/#datos_abiertos
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística. (2023). *Espacio y Datos de México*.
 Obtenido de INEGI:
<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx>
- Lamberti, R., Abate, D., De Guglielmo, M. L., Dell'Acqua, G., Esposito, T., Galante, F., .
 . . Perneti, M. (2009). Perceptual Measures and Physical Devices for Traffic
 Calming Along a Rural Highway Crossing a Small Urban Community: Speed
 Behavior Evaluation in a Driving Simulator. *Transportation Research Board 88th
 Annual Meeting*. Washington: Transportation Research Board.
- Lee, J. H., Noh, K. S., Kim, J. M., & Choi, J.-S. (2013). The Effects of Pavement
 Markings on High-risk Drivers' Speed. *International J. Highw. Engineering*, 127-
 134.
- Lorenzo, J. M. (2007). *Estadística Descriptiva*. Madrid: Thomson.
- Montella, A., Galante, F., Mauriello, F., & Pariota, L. (2015). Effects of Traffic Control
 Devices on Rural Curve Driving Behavior. *Transportation Research Board*, 10-
 22.
- Ramon, J. (8 de Febrero de 2019). *El Blog del Coyote*. Obtenido de Según RACC, la
 señalización de los radares es deficiente: <https://www.mycoyote.es/blog/servicio-radares/senalizacion-de-radares-velocidad/>
- Rossi, R., Gastaldi, M., Gecchele, G., Biondi, F., & Mulatti, C. (2014). Traffic-Calming
 Measures Affecting Perceived Speed in Approaching Bends. *Transportation
 Research Broad*, 35-43.
- S.A., H. (1996). Comunidades Seguras como Estrategia Nacional. *Conferencia Anual del
 Foro de Prevención de Lesiones y Reunión Anual en Oslo*, (págs. 19-21). Oslo.

- SCT. (2018). *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (21 de Febrero de 2020). *México se suma al objetivo mundial de reducir en 50% las muertes por accidentes viales hacia 2030*. Obtenido de Gobierno de México:
<https://www.gob.mx/sedatu/prensa/mexico-se-suma-al-objetivo-mundial-de-reducir-en-50-las-muertes-por-accidentes-viales-hacia-2030?idiom=es>
- Secretaría de Economía. (2023). *DATA MÉXICO*. Obtenido de
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/uruapan>
- Secretaria de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (8 de Agosto de 2023). NOM-034-SCT2/SEDATU-2022, Señalización y Dispositivos Viales para Calles y Carreteras. *Diario Oficial de la Federación*.
- Secretaria de Movilidad y Espacio Público de Morelia. (2018). *Norma Técnica de Diseño de Calles para el Municipio de Morelia*. Morelia.
- Solano, H. L. (2017). *Estadística Inferencial*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- The Highways Agency. (2004). *Design Manual for Roads and Bridges*.
- Tibshirani, R. (1996). Regression Shrinkage and Selection via the Lasso. *Royal Statistical Society*, 267-268.
- Torbic, D. J., Gilmore, D. K., Bauer, K. M., Bokenkroger, C. D., Harwood, D. W., Lucas, L. M., . . . Forsberg, M. D. (2012). *Design Guidance for High-Speed to Low-Speed Transition Zones for Rural Highways*. Kansas City: NCHRP Report 737.
- Transportation Research Board. (2016). *Highway Capacity Manual*. Washington, DC: TRB.
- Velázquez, J. (23 de Enero de 2023). *El Sol de Morelia*. Obtenido de Glorietas de Altozano, trampas mortales para los ciudadanos:
<https://www.elsoldemorelia.com.mx/local/glorietas-de-altozano-trampas-mortales-para-los-ciudadanos-video-9503328.html>
- Yew Wei, J. N., Tim, H. S., & Palanisamy, C. (2013). An Assessment on the Effectiveness of Traffic Calming Markins and Alternative for Speed Regulating Strips. *Road Safety on Four Continents Conference*, (pág. 13). Beijing.

Emilio Alejandro Rubio Torres

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA MARCA PACIFICADORA DE TRÁFICO “DIENTES DE DRAGÓN” EN ZON...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:422851968

Fecha de entrega

23 ene 2025, 7:31 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

23 ene 2025, 7:35 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA MARCA PACIFICADORA DE TRÁFICO “DIENTES DE DRAGÓN....pdf

Tamaño de archivo

7.8 MB

161 Páginas

29,782 Palabras

167,911 Caracteres

21% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres	
Título del trabajo	EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA MARCA PACIFICADORA DE TRÁFICO "DIENTES DE DRAGÓN" EN ZONAS DE TRANSICIÓN	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Ing. Emilio Alejandro Rubio Torres	1422546d@umich.mx
2Director	Dr. Antonio Hurtado Beltrán	antonio.hurtado@umich.mx
Codirector	M.I. Jorge Armando Estrada Cortez	ing.jorgearmando@umich.mx
Coordinador del programa	Dr. José Eleazar Arreygue Rocha	eleazar.arreygue@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Emilio Alejandro Rubio Torres
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 21 de enero de 2025